

#2
4-3-02

31000 U.S. PTO
10/033669
12/28/01

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of:
Junichi FUJIKATA

Application No.: To be assigned

Art Unit: To be assigned

Filed: December 28, 2001

Examiner: To be assigned

For: **SPIN TUNNEL MAGNETORESISTIVE
EFFECT FILM AND ELEMENT,
MAGNETORESISTIVE SENSOR USING
SAME, MAGNETIC APPARATUS, AND
METHOD FOR MANUFACTURING SAME:**

Docket No.: SHM-01901

Certificate of Express Mailing

I hereby certify that the foregoing documents are being deposited with the United States Postal Service as Express Mail, in an envelope addressed to the Commissioner for Patents, Washington, D.C. 20231 on this date of December 28, 2001.

Tracey A. Newell
Name: Tracey A. Newell
Express Mail Label: EL506926799US

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents
Washington, DC 20231

Sir:

Attached hereto is Japanese Application No. 2000-399868, filed December 28, 2000, a priority document for the above-referenced application. Should there be any questions after reviewing this submission, the Examiner is invited to contact the undersigned at 617-951-6676.

Respectfully submitted,
HUTCHINS, WHEELER & DITTMAR

Donald W. Muirhead

Donald W. Muirhead
Reg. No. 33,978
Patent Group
Hutchins, Wheeler & Dittmar
101 Federal Street, Boston, MA 02110-1804

December 28, 2001
Date



26339
PATENT TRADEMARK OFFICE

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

#2 2620
4-3-02 US

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2000年12月28日

出願番号

Application Number:

特願2000-399868

出願人

Applicant(s):

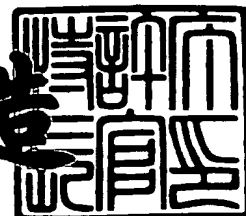
日本電気株式会社

J1000 U.S. PTO
10/033669
12/28/01

2001年 8月31日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3080284

【書類名】 特許願

【整理番号】 34803590

【提出日】 平成12年12月28日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G11B 5/31

【発明の名称】 スピントネル磁気抵抗効果膜及び素子及びそれを用いた磁気抵抗センサー、及び磁気装置及びその製造方法

【請求項の数】 29

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

 【氏名】 藤方 潤一

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

 【氏名】 石 勉

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

 【氏名】 森 茂

【特許出願人】

 【識別番号】 000004237

 【氏名又は名称】 日本電気株式会社

 【代表者】 金子 尚志

【代理人】

 【識別番号】 100070530

 【住所又は居所】 東京都港区赤坂1丁目1番18号 赤坂大成ビル 斉藤・畑国際特許事務所

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 畑 泰之

 【電話番号】 03-3582-7161

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 043591

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9603496

【プールの可否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 スピントンネル磁気抵抗効果膜及び素子及びそれを用いた磁気抵抗センサー、及び磁気装置及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 少なくとも、下部電極層／反強磁性薄膜／第 1 の磁性薄膜／トンネルバリア層／第 2 の磁性薄膜／上部電極層をこの順に積層した構造からなり、前記反強磁性薄膜による第 1 の磁性薄膜の交換結合磁界を H_r 、第 2 の磁性薄膜の保磁力を H_{c2} としたとき、 $H_{c2} < H_r$ であるスピントンネル磁気抵抗効果膜において、前記下部電極層と前記反強磁性薄膜との間に Ta, Zr, Hf またはこれらの合金からなる下地層を設け、該下地層上の前記反強磁性薄膜の表面の平均凹凸が 0.1 から 5 オングストロームであることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果膜。

【請求項 2】 請求項 1 記載のスピントンネル磁気抵抗効果膜において、前記第 1 の磁性薄膜の表面の平均凹凸が 0.1 から 5 オングストロームであることを更に特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果膜。

【請求項 3】 少なくとも、下部電極層／反強磁性薄膜／第 3 の磁性薄膜／非磁性薄膜／第 4 の磁性薄膜／第 1 の磁性薄膜／トンネルバリア層／第 2 の磁性薄膜／上部電極層をこの順に積層した構造からなり、前記第 3 の磁性薄膜と第 4 の磁性薄膜が非磁性薄膜を介して反強磁性的な結合をしており、前記反強磁性薄膜による前記第 1 の磁性薄膜の交換結合磁界を H_r 、第 2 の磁性薄膜の保磁力を H_{c2} としたとき、 $H_{c2} < H_r$ であるスピントンネル磁気抵抗効果膜において、前記下部電極層と前記反強磁性薄膜との間に Ta, Zr, Hf またはこれらの合金からなる下地層を設け、該下地層上の前記反強磁性薄膜の表面の平均凹凸が 0.1 から 5 オングストロームであることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果膜。

【請求項 4】 請求項 3 記載のスピントンネル磁気抵抗効果膜において、前記第 1 の磁性薄膜の表面の平均凹凸が 0.1 から 5 オングストロームであることを更に特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果膜。

【請求項 5】 少なくとも、下部電極層／第 2 の磁性薄膜／トンネルバリア層／第 1 の磁性薄膜／反強磁性薄膜／上部電極層をこの順に積層した構造からな

り、前記反強磁性薄膜による第 1 の磁性薄膜の交換結合磁界を H_r 、第 2 の磁性薄膜の保磁力を H_c2 としたとき、 $H_c2 < H_r$ であるスピントンネル磁気抵抗効果膜において、前記下部電極層と前記第 2 の磁性薄膜との間に Ta, Zr, Hf またはこれらの合金からなる下地層を設け、この下地層上の前記第 2 の磁性薄膜の表面の平均凹凸が 0.1 から 5 オングストロームであることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果膜。

【請求項 6】 少なくとも、下部電極層／第 2 の磁性薄膜／トンネルバリア層／第 1 の磁性薄膜／第 4 の磁性薄膜／非磁性薄膜／第 3 の磁性薄膜／反強磁性薄膜／上部電極層をこの順に積層した構造からなり、前記第 3 の磁性薄膜と第 4 の磁性薄膜が非磁性薄膜を介して反強磁性的な結合をしており、前記反強磁性薄膜による第 1 の磁性薄膜の交換結合磁界を H_r 、第 2 の磁性薄膜の保磁力を H_c2 としたとき、 $H_c2 < H_r$ であるスピントンネル磁気抵抗効果膜において、前記下部電極層と前記第 2 の磁性薄膜との間に Ta, Zr, Hf またはこれらの合金からなる下地層を設け、この下地層上の前記第 2 の磁性薄膜の表面の平均凹凸が 0.1 から 5 オングストロームであることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果膜。

【請求項 7】 請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載のスピントンネル磁気抵抗効果膜において、反強磁性薄膜が PtMn, PtMn-X (X は Ru, Ir, Cr, Fe, Co, Ni, Pd, Rh), PdMn, NiMn またはこれらの少なくとも 2 種から選択される合金からなることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果膜。

【請求項 8】 前記下地層の膜厚が 10 から 100 オングストロームであることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載のスピントンネル磁気抵抗効果膜。

【請求項 9】 前記トンネルバリア層が Al 酸化膜、Al 窒化膜、Ta 酸化膜、Mg 酸化膜あるいは少なくともこれらの二層膜であることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載のスピントンネル磁気抵抗効果膜。

【請求項 10】 前記トンネルバリア層の厚みが 3 から 12 オングストロームであることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載のスピントンネル磁気抵抗効果膜。

【請求項 11】 前記第 1 又は第 2 の磁性薄膜が Ni, Fe, Co, FeCo, NiFe,

NiFeCoを主成分とする磁性薄膜であり、該磁性薄膜の膜厚が3から100オングストロームであることを特徴とする請求項1乃至10のいずれかに記載のスピントンネル磁気抵抗効果膜。

【請求項12】 前記下部電極層として、シールド効果を有するアモルファス磁性材料と非磁性金属導電層との積層膜を用いることを特徴とする請求項1乃至11のいずれかに記載のスピントンネル磁気抵抗効果膜。

【請求項13】 前記アモルファス磁性材料がCoZrを主成分とする合金であることを特徴とする請求項12記載のスピントンネル磁気抵抗効果膜。

【請求項14】 請求項3, 4又は6記載の磁気抵抗効果膜において、反強磁性結合した前記第3の磁性薄膜と第4の磁性薄膜とで挟まれた非磁性薄膜がRu, Cr, Rh, Irまたはこれらの少なくとも2種から選択される合金からなり、かつ、前記第3の磁性薄膜又は第4の磁性薄膜がCo, FeCo, NiFe, NiFeCoからなることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果膜。

【請求項15】 前記非磁性薄膜の膜厚が4から10オングストロームであることを特徴とする請求項14記載のスピントンネル磁気抵抗効果膜。

【請求項16】 前記トンネルバリア層と前記第1の磁性薄膜又は第2の磁性薄膜との界面にCo, Fe, FeCoまたはNiFeCoを1から20オングストローム挿入することを特徴とする請求項1, 2又は5記載のスピントンネル磁気抵抗効果膜。

【請求項17】 請求項1乃至16のいずれかに記載のスピントンネル磁気抵抗効果膜の製造方法において、表面凹凸を制御する手段が、成膜室に 10^{-6} Torrから 10^{-9} Torr分圧の酸素、窒素、水素あるいはこれらの混合ガスを主成分とするガスを導入して成膜することによることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項18】 請求項1乃至16のいずれかに記載のスピントンネル磁気抵抗効果膜の製造方法において、表面凹凸を制御する手段が、成膜室に 10^{-7} Torrから 10^{-8} Torr分圧の酸素、窒素、水素あるいはこれらの混合ガスを主成分とするガスを導入して成膜することによることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項 1 9】 請求項 1 乃至 1 6 のいずれかに記載のスピントンネル磁気抵抗効果膜の製造方法において、表面凹凸を制御する手段が、Ta, Zr, Hfまたはこれらの合金からなる下地層の表面を酸化させることによることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項 2 0】 請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載のスピントンネル磁気抵抗効果膜の製造方法において、表面凹凸を制御する手段が、成膜中に基板温度を 0℃以下に冷却することによることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項 2 1】 請求項 9 記載のスピントンネル磁気抵抗効果膜の製造方法において、前記トンネルバリア層が 10^{-7} Torr から 10^{-10} Torr の真空中に酸素あるいは窒素あるいは酸素ラジカルあるいは窒素ラジカルを含むガスを導入し、酸化あるいは窒化して形成することを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項 2 2】 請求項 2 1 記載のトンネルバリア層の酸化あるいは窒化が、基板温度を室温から 2 5 0℃として処理することを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項 2 3】 請求項 1 乃至 1 6 のいずれかに記載の磁気抵抗効果膜を、素子高さを 0.1 から 1.0 μ m とし、素子幅を 0.1 から 1.0 μ m とし、素子抵抗を 40 Ω から 100 Ω とすることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項 2 4】 前記第 2 の磁性薄膜を単磁区化するに十分なバイアス磁界を生じさせる手段を有することを特徴とする請求項 2 3 記載のスピントンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項 2 5】 前記バイアスを生じさせる手段が、第 2 の磁性薄膜に隣接して配置された永久磁石膜または反強磁性薄膜によるものであることを特徴とする請求項 2 4 記載のスピントンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項 2 6】 請求項 2 3, 2 4 又は 2 5 記載のスピントンネル磁気抵抗効果素子の上下をシールド効果を有する軟磁性材料ではさんだ構造からなるシールド型スピントンネル磁気抵抗センサ。

【請求項 2 7】 請求項 2 3, 2 4 又は 2 5 記載のスピントンネル磁気抵抗

効果素子にシールド効果を有する軟磁性材料で信号磁界を導く構造からなるヨーク型スピントネル磁気抵抗センサ。

【請求項 2 8】 請求項 2 3, 2 4 又は 2 5 記載のスピントネル磁気抵抗効果素子と、検出される磁界の関数として前記スピントネル磁気抵抗効果素子の抵抗変化率を検出する手段とを兼ね備えた磁気抵抗検出システム。

【請求項 2 9】 情報を記録した磁気記録媒体と、該磁気記録媒体に記録された情報を再生する請求項 2 6 又は 2 7 に記載の磁気抵抗センサーと、該磁気抵抗センサーを前記磁気記録媒体の選択された位置へ移動制御するためのアクチュエータとを少なくとも有する磁気装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【産業上の利用分野】

本発明は、磁気媒体等に記録された情報である磁界強度を信号として読みとるためのスピントネル磁気抵抗効果素子およびそれに用いるスピントネル磁気抵抗効果膜に関し、更に詳しくは小さい外部磁界で大きな出力を実現するスピントネル磁気抵抗効果膜、スピントネル磁気抵抗効果素子、及びその素子を用いたスピントネル磁気抵抗センサ及び磁気装置に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

強磁性トンネル接合は二つの強磁性層の間に数nm厚の薄い絶縁体からなるトンネルバリア層を挟んだ構造を持つ。この素子では強磁性層間に一定の電流を流した状態で強磁性層面内に外部磁界を印加した場合、両磁性層の磁化の相対角度に応じて抵抗値が変化する磁気抵抗効果現象が現れる。この磁化の向きが平行である場合には抵抗値は最小となり、反平行である場合には抵抗値がその角度に応じて変化し、磁化の向きが逆向きとなると最大となる。

【0 0 0 3】

従って、両磁性層に保磁力差を付与することによって、外部磁界の強さに応じて磁化の平行および反平行状態を実現できるため、抵抗値の変化による磁界検出が可能となる。磁界感度を定める磁気抵抗変化率は、二つの強磁性層の分極率を

P_1, P_2 とすると、 $2P_1P_2/(1-P_1P_2)$ で表される。この式は、双方の分極率が大きい程磁気抵抗変化率が大きくなることを意味している。近年、トンネルバリア層の品質の向上により、20%という理論値に近い磁気抵抗変化率を示す強磁性トンネル接合が得られるようになったことから、磁気ヘッドや磁気メモリへの応用の可能性が高まってきている。

【0004】

こうした大きな磁気抵抗変化率を報告している代表例として、「1996年4月、ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス、79巻、4724から4729頁 (Journal of Applied Physics, vol. 79, 4724~4729, 1996)」、「1997年、ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス、81巻、3741-3746頁、(Journal of Applied Physics, vol. 81, 3741-3746)」がある。この報告例では、Si基板上に20 nmのPt電極を積層し、その上に4 nmのNiFe層、10nmのFeMn層、8 nmのNiFe層、1-3 nmのAlを成膜後、酸素プラズマによりAl酸化膜を形成し、続いて上部電極としての8 nmのNiFe層に交換結合磁界を付与している。この素子において、室温で22%の高い磁気抵抗変化率が得られている。

【0005】

一方、「アプライド・フィジックス・レターズ、72巻、605-607頁、1998年 (Applied Physics Letters, vol. 72, 605-607, 1998)」では、NiOを反強磁性材料として採用したCo/Al₂O₃/Co/NiOなる構成の強磁性トンネル接合素子で、室温で17%の磁気抵抗変化率を報告している。また、「アイ・イー・イー・イー・トランザクション・オン・マグネティックス、33巻、3553-3555頁、1997年 (IEEE Transactions on Magnetism, vol. 33, 3553-3555, 1997)」では、FeMnを反強磁性体として用いたNiFe/Co/Al-AlO_x/Co/NiFe/FeMn/NiFeなる構成の強磁性トンネル接合素子で、室温で最大24%の磁気抵抗変化率を観測し、その磁気ヒステリシスもスピンバルブと同様なものが得られたことを報告している。

【0006】

以上のような反強磁性体を用いて磁化を固定する方法は、スピンバルブ膜で従来用いられており、これらの報告例は、この方法を強磁性トンネル接合に適用したものであると言える。

【0007】

素子の磁気ヒステリシスは、スピバルブ膜と同様なものが得られており、ゼロ磁場付近でのヒステリシスが低減される。従って、保磁力差型の強磁性トンネル接合に比べて、磁気センサー等のデバイス応用に適した構成となっている。

【0008】

強磁性トンネル接合素子を高密度磁気ヘッドに適用するためには、このように一方の強磁性体を反強磁性体で交換バイアスしたスピバルブ的な構造を有することが好ましいが、そこで用いられる反強磁性体は、デバイス動作上支障のない熱安定性、ならびにデバイス作製プロセスにおける高い耐食性が要求される。しかし、上述した報告例は、ブロッキング温度（交換結合磁界の消失する温度）の低いFeMn（ブロッキング温度150℃）、NiO（ブロッキング温度200℃）を用いているため、熱安定性の面で不十分である。

【0009】

なぜなら、ブロッキング温度が低いと、素子動作時の温度上昇によってピン層磁化を固定する磁界が弱まり、環境からの磁場（センス電流等から生じる磁場など）の影響で、ピン層磁化方向が変化するなどの結果、その磁場感度が低下してしまうからである。なお、ブロッキング温度の高い反強磁性体を用いた場合は、素子の温度が上昇しても、ピン層の磁化方向が変化しにくく、感度が落ちにくい。また、特にFeMnは腐食されやすいという欠点もあり、デバイス作製プロセス上も問題点を残している。

【0010】

一方、300℃以上の高いブロッキング温度を有する反強磁性体として、PtMn、PdMn、NiMnに代表されるMn系規則合金がある。これらMn系規則合金の反強磁性体は、その高いブロッキング温度ゆえに熱安定性に優れ、かつ良好な耐食性も兼ね備えているため、強磁性トンネル接合素子を磁気ヘッド等のデバイスに応用する場合、極めて有利な材料系であると言える。

【0011】

しかし、これらの材料では、成膜直後の状態で交換結合磁界が出現しない。なぜなら成膜直後の状態では、これらの材料が不規則相となっているためである。

【 0 0 1 2 】

従って、不規則相を規則化し、適当な交換結合磁界を出現させるために、従来よりも高温で、長時間の磁場中熱処理（PtMnで250℃、PdMnで230℃、NiMnで270℃以上、5時間程度）が必要である。

【 0 0 1 3 】

【発明が解決しようとする課題】

上記従来例に於けるスピントネル磁気抵抗効果素子においても、小さい外部磁場で動作するとは言え、実用的なセンサー、磁気ヘッドとして使用する場合、FeMnのネール温度が低く、素子の熱安定性に問題があった。反強磁性薄膜としてネール温度の高いPtMn, PdMn, NiMnなどを用いる場合、反強磁性相（規則相）を得るために適当な熱処理が必要であり、この熱処理によりトンネルバリア層中の酸素あるいは窒素が磁性薄膜中へ拡散し、抵抗変化率すなわち素子とした時の出力が低下してしまうという問題があった。

【 0 0 1 4 】

従来のスピントネル磁気抵抗効果膜の製造方法では、スピントネル素子の抵抗が100Ω以上と非常に大きく、磁気抵抗検出システムにおける高周波応答特性の劣化やショットノイズの影響により、高記録密度において十分なS/Nが得られないという問題があった。

【 0 0 1 5 】

これに対応するため、トンネルバリア層を薄層化し素子抵抗を低下させた場合、ピンホールの影響により電流リークが発生し、磁気抵抗変化率が低下してしまうという問題があった。

【 0 0 1 6 】

一方、特開平2000-215415号公報が知られているが、当該公報では、下シールド層の表面粗度を3nm以下とした磁気抵抗効果素子に関して記載されているが、係る技術に於いては下シールド層の表面粗度を3nm以下としても、実質的にトンネルバリア層の表面に与える影響は少なく、目的とする磁気抵抗効果素子は得られなかった。

【 0 0 1 7 】

本発明の目的は、トンネルバリア層を薄膜化しても磁気抵抗変化率が低下せず、高周波応答特性、熱安定性に優れ、磁気ヘッド適用に十分な低抵抗を示し、ゼロ磁場前後で直線的に大きな磁界感度を示すスピントンネル磁気抵抗効果膜およびスピントンネル磁気抵抗効果素子を提供することにある。

【 0 0 1 8 】

【課題を解決する為の手段】

本発明は、少なくとも二つの磁性薄膜がトンネルバリア層を介して積層された構成からなり、このトンネルバリア層を介して積層された一方の磁性薄膜（第1の磁性薄膜）に反強磁性薄膜が隣接して設けてあり、この反強磁性薄膜によるバイアス磁界を H_r 、他方の磁性薄膜（第2の磁性薄膜）の保磁力を H_{c2} とした時、 $H_{c2} < H_r$ であることを特徴とするスピントンネル磁気抵抗効果膜における、下地層および積層構成および作製方法に関する。

【 0 0 1 9 】

下地層は、スピントンネル磁気抵抗効果膜の平坦性と多層膜における界面を明確にする働きを示し、Ta, Hf, Zrまたはこれらの合金が望ましい。この時下地層としてTa, Hf, Zrまたはこれらの合金を用いる場合、膜厚は10から100オングストロームが望ましい。膜厚が10オングストローム以下では下地層としての効果が損なわれ、また100オングストローム以上では下地層がアモルファス状態から結晶状態へと変化し、下地としての効果が小さくなるためである。

【 0 0 2 0 】

本発明では、これらの下地層に隣接して少なくとも一層からなる磁性薄膜を積層し、この磁性薄膜の表面の平均凹凸を0.1から5オングストロームとしていることを特徴とする。これにより、この上に積層したトンネルバリア層の連続性すなわち膜厚の均一性が保たれると共に、トンネルバリア層との界面における磁性薄膜の酸化が抑制され、より大きな抵抗変化が得られる。また、これによりトンネルバリア層の熱処理による劣化が改善される。

【 0 0 2 1 】

本発明の反強磁性薄膜に用いる反強磁性体は、PtMn, PtMn-X(XはRu, Ir, Cr, Fe, Co, Ni, Pd, Rh), PdMn, NiMnまたはこれらの少なくとも2種から選択される

合金とすることが好ましい。また、この反強磁性薄膜の膜厚は50から350オングストローム程度が望ましい。

【0022】

50オングストローム以下では、これら反強磁性薄膜の相変化が不十分となり、十分な交換バイアス磁界が得られない。交換バイアス磁界を得る上で膜厚の上限は特にはないが、350オングストローム以上とするとスピントネル磁気抵抗効果素子におけるシールド間の間隔が大きくなり、外部信号の読取り精度が悪くなってしまう。

【0023】

本発明では、下地層の上に隣接して反強磁性層を積層することにより、スピントネル磁気抵抗効果膜における層構造の平坦性が改善され、大きな磁気抵抗変化率を得ることが可能である。反強磁性層の表面の平均凹凸は、この下地にTa, Hf, Zrまたはこれらの合金を用いることにより改善され、特に0.1から5オングストローム程度とすることが望ましい。反強磁性層の平均凹凸が5オングストロームを超えた場合、その上に積層する磁性薄膜等の界面の凹凸が大きくなり、トンネルバリア層の膜厚の均一性が悪くなる。

【0024】

また、反強磁性層の平均凹凸を0.1から5オングストロームとすることにより、その上に積層する磁性薄膜等の界面が明確となり、熱処理によるトンネルバリア層の劣化とそれに伴う磁気抵抗変化の低下が改善される。本発明では、反強磁性薄膜およびそれに隣接する磁性薄膜を200℃から300℃で磁界中熱処理し、磁性薄膜の一方向異方性を誘起することが可能である。

【0025】

本発明では、上記磁性薄膜表面の平均凹凸を0.1から5オングストロームに制御するため、成膜室に 10^{-6} Torrから 10^{-9} Torr分圧の酸素、窒素、水素あるいはこれらの混合ガスを導入して成膜する。

【0026】

また、下地材料表面を適度な酸素分圧のもとで酸化させることにより、その上に積層する磁性薄膜の結晶粒成長が抑制され、表面の平均凹凸を小さくすること

が可能である。また、磁性薄膜の表面の平均凹凸を 0.1 から 5 オングストロームに制御するため、成膜中に基板温度を 0℃ 以下に冷却することも効果的である。この時、磁性薄膜の結晶粒成長が抑制され、より平坦な層構造が実現される。

【 0 0 2 7 】

本発明のトンネル磁気抵抗効果素子における下部電極材料は、シールド効果を有する高い透磁率を有するアモルファス磁性材料と非磁性金属導電層との積層膜とすることも好ましい。

【 0 0 2 8 】

この時高透磁率アモルファス磁性材料は、トンネル磁気抵抗効果膜の平坦性を改善する効果があり、非磁性金属導電層との積層においても同様の効果が得られる。この高透磁率アモルファス磁性材料は、CoZrを主成分とする合金とすることが好ましい。より具体的には、CoZrNb, CoZrMo, CoZrTa, CoZrTaCrなどが挙げられる。

【 0 0 2 9 】

また、これと積層する金属導電層の種類に特に制限はないが、アモルファス磁性層上に積層した時平坦性が良好となるTa, Zr, Hf, Pt, Ru, Au, Cu, Mo,あるいはこれらの少なくとも2種からなる合金からなる少なくとも一層であることが望ましい。

【 0 0 3 0 】

本発明のトンネルバリア層は、Al酸化膜、Al窒化膜、Ta酸化膜、Mg酸化膜あるいは少なくともこれらの二層膜であることを特徴とする。これにより安定なトンネル障壁が形成され、高い磁気抵抗変化率を得ることが可能となる。本発明のトンネルバリア層は、 10^{-7} Torrから 10^{-10} Torrの真空中に、酸素あるいは窒素あるいは酸素ラジカルあるいは窒素ラジカルを含むガスを導入し、酸化あるいは窒化して形成することを特徴とする。

【 0 0 3 1 】

これにより、水分や炭素酸化物や窒素酸化物の汚染を抑制し、素子抵抗の制御性と均一性を高めることが可能である。実験結果よりトンネルバリア層の厚さは、3 から 12 オングストロームであることが望ましい。

【0032】

即ち、トンネルバリア層厚が12オングストロームより厚くなると、トンネル接合抵抗が顕著に増加することにより高周波応答性が悪くなり、磁気抵抗効果素子として好ましくない。一方、膜厚が3オングストローム以下になると、磁性薄膜間の磁気相互作用が大きくなりすぎ、また磁気的な直接接触状態（ピンホール）の発生が避けられないことから、両磁性薄膜の磁化方向が相異なる状態が生じにくくなる。また、ピンホールを通したリーク電流の影響が顕著となり、磁気抵抗変化率が低下する。本発明の磁性薄膜に用いる磁性体の種類はNi, Fe, Co, FeCo, NiFe, NiFeCoまたはこれらの合金が好ましい。

【0033】

これにより、トンネルバリア層／磁性薄膜界面でのスピン分極率を大きくすることが可能となり、より大きな抵抗変化が得られる。本発明ではこれらの磁性体から選択して磁性薄膜を形成する。特に、トンネルバリア層を介して積層される二つの磁性薄膜のうち、反強磁性薄膜と隣接していない磁性薄膜（第2の磁性薄膜）の異方性磁界 H_{k2} が、保磁力 H_{c2} より大きい材料を選択することにより実現できる。

【0034】

また、異方性磁界は、膜厚を薄くすることによっても大きくできる。例えば、NiFeを10オングストローム程度の厚さにすると、異方性磁界 H_{k2} を保磁力 H_{c2} より大きくすることができる。

【0035】

さらに、このようなスピントネル磁気抵抗効果膜は、磁性薄膜の磁化容易軸が、印加される信号磁界方向に対して垂直方向になっていて、印加信号磁界方向の磁性薄膜の保磁力が $H_{c2} < H_{k2} < H_r$ になるようにする。このように磁化容易軸を信号磁界方向に垂直とすると、バルクハウゼンノイズを抑制することができる。そしてこのような磁化容易軸方向の制御は磁場中成膜することにより製造できる。

【0036】

また、トンネルバリア層を介して積層される二つの磁性薄膜のうち反強磁性薄

膜と隣あう磁性薄膜（第1の磁性薄膜）の磁化容易軸方向と、反強磁性薄膜と隣あわない磁性薄膜（第2の磁性薄膜）の磁化容易軸方向とが直交するようにする。これも成膜中印加磁界を90度回転させる、あるいは磁場中で基板を90度回転させることにより実現できる。

【0037】

磁界を検知する磁性薄膜（第2の磁性薄膜）の膜厚は、100オングストローム以下が望ましい。膜厚を200オングストローム以上とすると、膜厚の増加に伴って素子とした時に反磁界の影響が大きく現れ、外部磁界に対する感度が悪くなってしまふ。一方、磁性薄膜の厚さの下限は特にはないが、3オングストローム以下は磁性薄膜が不連続膜となり易く、磁気抵抗変化が小さくなる。また、厚さを3オングストローム以上とすれば、膜厚を均一に保つことが容易となり、特性も良好となる。

【0038】

また、飽和磁化の大きさが小さくなりすぎることもない。さらに、磁性薄膜／トンネルバリア層界面にCo, Fe, FeCoまたはNiFeCoを挿入することにより、伝導電子のスピン分極率が上昇し、より大きな抵抗変化を得ることが可能である。挿入する膜厚の下限は1オングストロームである。これ以下では、挿入効果が減少すると共に、膜厚制御も困難となる。

【0039】

挿入膜厚の上限は特にはないが、20オングストローム程度が望ましい。これ以上にすると、磁界を検知する磁性薄膜（第2の磁性薄膜）の軟磁気特性が悪くなり、磁気抵抗効果素子の動作範囲における出力にヒステリシスが現れる。

【0040】

本発明では、反強磁性薄膜と、この反強磁性薄膜と隣接して積層される磁性薄膜（第1の磁性薄膜）との間に、反強磁性的に結合した磁性薄膜／非磁性薄膜／磁性薄膜の三層膜を介挿した構成としても良い。

【0041】

これにより反強磁性薄膜による交換バイアス磁界が顕著に上昇し、スピントンネル磁気抵抗効果素子の熱安定性が向上する。また、磁界を検知する第2の磁性

薄膜と、第1の磁性薄膜との静磁的な相互作用が低減され、スピントンネル磁気抵抗効果素子の出力が改善される。反強磁性結合した三層膜における非磁性薄膜はRu, Cr, Rh, Irまたはこれらの少なくとも2種から選択される合金であることが望ましい。

【 0 0 4 2 】

これにより反強磁性結合した三層膜の飽和磁界が大きくなり、スピントンネル磁気抵抗効果素子とした時の熱安定性が改善される。この時、反強磁性結合した三層膜における非磁性層の膜厚は、4から10オングストロームであることが望ましい。これにより、非常に大きな反強磁性結合磁界が得られるためである。反強磁性結合した三層膜における磁性層は、Co, FeCo, NiFe, NiFeCoからなる。これにより大きな反強磁性結合が得られると共に、大きな抵抗変化が得られる。

【 0 0 4 3 】

さらに、このようなスピントンネル磁気抵抗効果膜において、外部磁場を検知する磁性薄膜（第2の磁性薄膜）、すなわち反強磁性層と隣接しない磁性薄膜の容易磁化方向に永久磁石薄膜を隣接させることにより、磁区安定化が図られバルクハウゼンジャンプなどの非直線的な出力が回避される。

【 0 0 4 4 】

永久磁石薄膜としては、CoCr, CoCrTa, CoCrTaPt, CoCrPt, CoNiPt, CoNiCr, CoCrPtSi, FeCoCrなどが好ましい。そして、これらの永久磁石薄膜の下地層として、Crなどが用いられてもよい。また、基板としては、ガラス、Si、MgO、Al₂O₃、GaAs、フェライト、CaTi₂O₃、BaTi₂O₃、Al₂O₃-TiC等を用いることができる。

【 0 0 4 5 】

磁性又は非磁性薄膜の膜厚は、透過型電子顕微鏡、走査型電子顕微鏡、オージェ電子分光分析等により測定することができる。また、薄膜の結晶構造は、X線回折や高速電子線回折等により確認することができる。さらに、薄膜表面の平均凹凸は原子間力顕微鏡により測定することができる。

【 0 0 4 6 】

本発明のスピントンネル磁気抵抗効果膜において、最上層に酸化を抑制する保護膜として、Ta, Hf, Zr, Tiなどが積層されてもよく、さらに、上部電極材料と

なる金属導電層が設けられてもよい。

【0047】

【発明の実施の態様】

本発明のスピントンネル磁気抵抗効果膜では、一方の磁性薄膜に隣接（又は反強磁性結合した三層膜を介して隣接）して反強磁性薄膜が形成されていて、交換バイアス力が働いていることが必須である。

【0048】

その理由は、本発明の原理が隣合った磁性薄膜の磁化の向きが互いに逆向きに向いたとき、最大の抵抗を示すことにあるからである。すなわち、本発明では図4（a）で示すごとく外部磁場 H が磁性薄膜の異方性磁界 H_k2 と一方の磁性薄膜の抗磁力 H_r の間であるとき、すなわち $H_k2 < H < H_r$ であるとき、隣合った磁性薄膜の磁化の方向が互いに逆向きになり、抵抗が増大する。

【0049】

図3は、本発明のスピントンネル磁気抵抗効果膜を用いた磁気抵抗効果素子の一例を示す展開斜視図である。このMRセンサは、図3に示すように、基板10上に形成されたスピントンネル磁気抵抗効果膜11からなり、基板10上に下地層1および反強磁性薄膜2を形成し、トンネルバリア層5を介した磁性薄膜4、6間の磁化容易方向を直交させ、磁気記録媒体20から放出される信号磁界が磁性薄膜6の磁化容易方向に対し垂直となるように設定する。

【0050】

このとき、第1の磁性薄膜4は、反強磁性的に結合した三層膜3A、3B、3Cに隣接しており、反強磁性薄膜2により交換バイアス磁界が印加され、一方向異方性が付与されている。そして、第2の磁性薄膜6の磁化方向が磁気記録媒体の信号磁界の大きさに応答して回転することにより、抵抗が変化し磁場を検知する。素子抵抗は磁気抵抗検出システムにおける周波数特性あるいは S/N に大きく影響し、 100Ω 以上では磁気ヘッドとしては不十分である。

【0051】

また、一方で出力は素子抵抗と比例関係にあるため、素子抵抗は 40Ω から 100Ω 程度である必要がある。ここで、外部磁場、保磁力及び磁化の方向の関係

を説明する。図4 (a) に示すように、交換バイアスされた磁性薄膜 (第1の磁性薄膜) 4 の交換バイアス磁界を H_r 、他方の磁性薄膜 (第2の磁性薄膜) 6 の保磁力を H_{c2} 、異方性磁界を H_{k2} とする ($0 < H_{k2} < H_r$)。

【0052】

また、一般に交換バイアスされた磁性薄膜はヒステリシスを示し、プラス磁界に対する反転磁界を H_{rk2} 、マイナス磁界に対する反転磁界を H_{rk1} とする。このとき、 $H_r = (H_{rk1} + H_{rk2})/2$ の関係となる。最初、外部磁場 H を $H < -H_{k2}$ となるように印加しておく (領域 (A))。この時、磁性薄膜4 及び6 の磁化方向は、 H と同じ (負) 方向に向いている。

【0053】

次に外部磁場を弱めていくと $-H_{k2} < H < H_{k2}$ (領域 (B)) において磁性薄膜6 の磁化は+方向に回転し、 $H_{k2} < H < H_{a2}$ の領域 (C) では、磁性薄膜4 及び6 の磁化方向は互いに逆向きになる。更に外部磁場を大きくした $H_{a2} < H < H_{rk2}$ の領域 (D) では、磁性薄膜4 の磁化も反転し、 $H_{rk2} < H$ の領域 (E) では磁性薄膜4 及び6 の磁化方向は+方向に揃って向く。

【0054】

図4 (b) に示すように、この膜の抵抗は磁性薄膜4 及び6 の相対的な磁化方向によって変化し、ゼロ磁場前後で直線的に変化し、領域 (C) で最大の値 (R_{max}) をとるようになる。

【0055】

【実施例】

本発明のスピントンネル磁気抵抗効果素子を添付図面を参照して説明する。図1 (a)、図1 (b)、図2 (a) 及び図2 (b) は、本発明の実施例であるスピントンネル磁気抵抗効果膜のそれぞれの具体例の構成を示す断面図である。

【0056】

図1 (a) において、スピントンネル磁気抵抗効果素子は、下部電極層9、下地層1、反強磁性薄膜2を形成した基板10上に第1の磁性薄膜4と第2の磁性薄膜6を有し、前記2層の磁性薄膜4、6の間にトンネルバリア層5を有する。さらに、この上に上部電極層7を有する。

【 0 0 5 7 】

この時磁性薄膜はFeCo, NiFe, NiFeCoの少なくとも一層から構成される。

【 0 0 5 8 】

また、第2の磁性薄膜6にはその両側面に反強磁性薄膜あるいは永久磁石薄膜8が隣接して配置されている。

【 0 0 5 9 】

一方、図1 (b) において、スピントンネル磁気抵抗効果素子は、下部電極層9、下地層1、第2の磁性薄膜6、第1の磁性薄膜4を有し、2層の磁性薄膜6、4の間にトンネルバリア層5を有する。さらに、この上に反強磁性薄膜2および上部電極層7を有する。

【 0 0 6 0 】

また、第2の磁性薄膜6には反強磁性薄膜あるいは永久磁石薄膜8が隣接して配置されている。

【 0 0 6 1 】

又、図2 (a) において、スピントンネル磁気抵抗効果素子は、下部電極層9、下地層1、反強磁性薄膜2を形成した基板10上に、非磁性薄膜3Bを介して反強磁性的に結合した第3および第4の磁性薄膜3A、3Cを有し、これと隣接して第1の磁性薄膜4を有する。この上にさらにトンネルバリア層5を形成し、第2の磁性薄膜6と上部電極層7を積層する。

【 0 0 6 2 】

また、第2の磁性薄膜6には反強磁性薄膜あるいは永久磁石薄膜8が側面に隣接して配置されている。

【 0 0 6 3 】

一方、図2 (b) においては、スピントンネル磁気抵抗効果素子は、下部電極層9、下地層1、第2の磁性薄膜6、およびトンネルバリア層5を有する。この上に第1の磁性薄膜4、および非磁性薄膜3Bを介して反強磁性適に結合した第4および第3の磁性薄膜3C、3Aを有し、さらにこの上に、反強磁性薄膜2および上部電極層7を積層する。また、第2の磁性薄膜6には反強磁性薄膜あるいは永久磁石薄膜8が隣接して配置されている。

【0064】

尚、上記した図1 (a) から図2 (b) に於て示される矢印は、図面の紙面に平行な方向の磁化容易軸が形成されている事を示してており、同様に○内に×を含む符号は、図面の紙面に垂直な方向で且つ図面手前から図面の裏面に向かう磁化容易軸が形成されている事を示してており、又○内に黒点を含む符号は、図面の紙面に垂直な方向で且つ図面裏面から図面の手前側に向かう磁化容易軸が形成されている事を示している。

【0065】

以下、本発明を具体的な実験結果により請求項で示した材料について全て実施例で説明する。

【0066】

図5に本発明のスピントンネル磁気抵抗効果膜の成膜工程を示す。

【0067】

基板としてアルチック基板を用い真空装置の中に入れ、 10^{-8} Torr 以下まで真空引きを行う。基板温度を室温から液体窒素温度に保ち、下部電極層9、下地層1 (Ta, Zr, Hf) 成膜し、適当な分圧 (好ましくは 10^{-2} から 10^{-8} Torr) の酸素を導入し、表面を酸化させる。

【0068】

この酸化工程は、装置内の真空度を 10^{-7} Torr 以下、好ましくは 10^{-10} Torr以下まで、真空引きした後、所定の分圧の酸素を導入することで行う。その後、 10^{-6} から 10^{-9} Torr分圧 (より好ましくは 10^{-7} から 10^{-8} Torr分圧) の酸素あるいは水素あるいは窒素を導入する。

【0069】

そして反強磁性薄膜3、磁性薄膜3A、3B、3C等を順次成膜する。この際、好ましくはこれら反強磁性薄膜、磁性薄膜等を成膜する際、基板温度を 0°C 以下として成膜することが好ましい。

【0070】

このように基板温度を制御することによって、成膜する膜の平均凹凸を平坦化することができる。

【0071】

次いで、第1の磁性薄膜4及びトンネルバリア層5となるAlあるいはTaあるいはMgを成膜し、連続して真空度を 10^{-7} から 10^{-10} Torrとして、酸素あるいは窒素あるいは酸素ラジカルあるいは窒素ラジカルを含むガスを導入し、このAl又はTa又はMgを酸化あるいは窒化してトンネルバリア層5を形成する。

【0072】

さらに、この上に磁界を検知する第2の磁性薄膜6および上部電極層7を形成する。この時反強磁性薄膜2に隣接する第1の磁性薄膜4の磁化容易軸と、トンネルバリア層5を介してこれと隣接する第2の磁性薄膜6の磁化容易軸とが直交するように、成膜中印加磁界を 90° 回転させた状態で成膜する。

【0073】

続いてこの積層膜を加熱炉に入れ、3 kOeから20 kOeのDC磁界を交換結合層の容易磁化方向に印加しながら200℃から300℃で熱処理し、スピントネル磁気抵抗効果膜とする。

【0074】

成膜は具体的には、基板両脇にNdFeB磁石を配置し、基板と平行に3000e程度の外部磁場が印加されているような状態で行った。

【0075】

この試料のB-H曲線を測定すると成膜中磁場印加方向が磁性薄膜の磁化容易軸となる。そして、以下に示すスピントネル磁気抵抗効果膜は、反強磁性薄膜、磁性薄膜および非磁性薄膜について約0.2から2.0オングストローム/秒の成膜速度で成膜を行った。

【0076】

なお、例えばSub/CoZrTa(1 μ m)/Zr(30 Å)/PtMn(250)/CoFe(30)/Al(7)-ox/CoFe(10)/NiFe(60)/Zr(30)と表示されている場合、基板上にCoZrTa薄膜を1マイクロメートル、Zr薄膜を30オングストローム、PtMn反強磁性薄膜を250オングストローム、CoFe薄膜を30オングストローム、Al薄膜を7オングストローム積層し、その後バリア酸化処理を施し、さらにCoFe薄膜を10オングストローム、NiFe薄膜を60オングストローム、Zr薄膜を30オングストローム順次成膜する

ことを意味する。

【0077】

成膜したトンネル磁気抵抗効果膜はイオンミリングとフォトリソグラフィを用いて素子形状へ加工した。まず、下地電極形状のフォトレジスト (PR) を形成し最下層まですべてミリングする。

【0078】

その後、PRを除去し、残った下地電極形状のスピントンネル磁気抵抗効果膜 (TMR膜) 上に新たに接合サイズを規定するPRを形成してバリア層までのミリングを行う。

【0079】

続いて接合サイズのPRを残したまま電極間の絶縁層 (Al_2O_3) を成膜する。その後、接合サイズのPRを除去してから、さらに上部電極層を成膜する。上部電極形状のPRを形成後、イオンミリングにより上部電極を加工し、PR除去した後、素子加工を完了する。完成した素子は四端子法を用いて磁場中にて抵抗値を測定し、磁気抵抗特性を評価した。

【0080】

磁気抵抗測定は、外部磁界を面内に電流と垂直方向になるようにかけながら、 -700 から 700Oe まで変化させたときの抵抗を4端子法により測定し、その抵抗から磁気抵抗変化率 $\Delta R/R$ を求めた。抵抗変化率 $\Delta R/R$ は、最大抵抗値を R_{max} 、最小抵抗値を R_{min} とし、次式により計算した。

【0081】

また、スピントンネル磁気抵抗効果素子の接合抵抗は、素子サイズを $1\ \mu\text{m}$ 角に加工した時の抵抗として、規格化した。(素子抵抗はスピントンネル磁気抵抗効果膜を所望の素子サイズに加工した時の抵抗である)

また、平均凹凸は、原子間力顕微鏡を用いて、 $0.1\ \mu\text{m}$ 角における平均粗さとして測定した結果を示している。

$$\Delta R/R = (R_{\text{max}} - R_{\text{min}}) / R_{\text{min}} \times 100 (\%)$$

又、磁化の測定は、振動試料型磁力計により行った。

【 0 0 8 2 】

作成したスピントネル磁気抵抗効果膜を以下に示す。

トンネルバリア層Al-0x

- a. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/NiMn(30-400)/CoFe(10-100)/Al(3-20)-0x/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)
- b. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/PdMn(30-400)/CoFe(10-100)/Al(3-20)-0x/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)
- c. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/PtMn(30-400)/CoFe(10-100)/Al(3-20)-0x/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)
- d. Sub/CoZrX(1 μ m)/PtMn(30-400)/CoFe(10-100)/Al(3-20)-0x/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)
- e. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/FeMn(30-400)/CoFe(10-100)/Al(3-20)-0x/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)
- f. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/NiFe(1-100)/CoFe(1-40)/Al(3-20)-0x/CoFe(10-100)/NiMn(30-400)/Ta(5-50)
- g. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/NiFe(1-100)/CoFe(1-40)/Al(3-20)-0x/CoFe(10-100)/PdMn(30-400)/Ta(5-50)
- h. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/NiFe(1-100)/CoFe(1-40)/Al(3-20)-0x/CoFe(10-100)/PtMn(30-400)/Ta(5-50)
- i. Sub/CoZrX(1 μ m)/NiFe(1-100 Å)/CoFe(1-40)/Al(3-20)-0x/CoFe(10-100)/PtMn(30-400)/Ta(5-50)
- j. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/NiFe(1-100)/CoFe(1-40)/Al(3-20)-0x/CoFe(10-100)/FeMn(30-400)/Ta(5-50)

2. トンネルバリア層Al-Nx

- a. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/NiMn(30-400)/CoFe(10-100)/Al(3-20)-Nx/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)
- b. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/PdMn(30-400)/CoFe(10-100)/Al(3-20)-Nx/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)

c. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/PtMn(30-400)/CoFe(10-100)/Al(3-20)-Nx/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)

3. トンネルバリア層Ta-Ox

a. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/NiMn(30-400)/CoFe(10-100)/Ta(3-20)-Ox/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)

b. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/PdMn(30-400)/CoFe(10-100)/Ta(3-20)-Ox/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)

c. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/PtMn(30-400)/CoFe(10-100)/Ta(3-20)-Ox/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)

4. トンネルバリア層Mg-Ox

a. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/NiMn(30-400)/CoFe(10-100)/Mg(3-20)-Ox/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)

b. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/PdMn(30-400)/CoFe(10-100)/Mg(3-20)-Ox/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)

c. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/PtMn(30-400)/CoFe(10-100)/Mg(3-20)-Ox/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)

5. CoFe/(Ru,Cr,Rh,Ir)/CoFe磁性層

a. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/PtMn(30-400)/CoFe(10-50)/(Ru,Cr,Rh,Ir)(4-16)/CoFe(10-50)/NiFe(0-40)/Al(3-20)-Ox/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)

b. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/PtMn(30-400)/CoFe(10-50)/(Ru,Cr,Rh,Ir)(4-16)/CoFe(10-50)/NiFeCo(0-40)/Al(3-20)-Ox/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)

c. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/PtMn(30-400)/CoFe(10-50)/(Ru,Cr,Rh,Ir)(4-16)/CoFe(10-50)/NiFe(0-40)/Al(3-20)-Nx/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)

d. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/PtMn(30-400)/CoFe(10-50)/(Ru,Cr,Rh,Ir)(4-16)/CoFe(10-50)/NiFeCo(0-40)/Al(3-20)-Nx/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)

- e. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/PtMn(30-400)/CoFe(10-50)/(Ru,Cr,Rh,Ir)(4-16)/CoFe(10-50)/NiFe(0-40)/Ta(3-20)-0x/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)
- f. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/PtMn(30-400)/CoFe(10-50)/(Ru,Cr,Rh,Ir)(4-16)/CoFe(10-50)/NiFeCo(0-40)/Ta(3-20)-0x/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)
- g. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/PtMn(30-400)/CoFe(10-50)/(Ru,Cr,Rh,Ir)(4-16)/CoFe(10-50)/NiFe(0-40)/Mg(3-20)-0x/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)
- h. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/PtMn(30-400)/CoFe(10-50)/(Ru,Cr,Rh,Ir)(4-16)/CoFe(10-50)/NiFeCo(0-40)/Mg(3-20)-0x/CoFe(1-40)/NiFe(1-100)/Ta(5-50)
- i. Sub/CoZrX(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(10-100 Å)/NiFe(1-100)/CoFe(1-40)/Al(3-20)-0x/NiFe(0-40)/CoFe(10-50)/(Ru,Cr,Rh,Ir)(4-16)/CoFe(10-50)/PtMn(30-400)/Ta(5-50)

図 6 は接合抵抗のバリア層厚依存に関する、磁性薄膜表面凹凸依存性である。

【 0 0 8 3 】

尚、本発明に於て使用される接合抵抗は、素子サイズを 1 μ m 角に加工した時の抵抗として規格化したものである。

【 0 0 8 4 】

ここでは膜構成を、Sub/CoZrTa(1 μ m)/Ta(100 Å)/PtMn(200)/CoFe(20)/Ru(6)/CoFe(20)/NiFe(10)/Al(3-20)-0x/CoFe(10)/NiFe(50)/Ta(50) とし、図中の凹凸は反強磁性薄膜 (PtMn) の表面平均凹凸の値を示している。

【 0 0 8 5 】

平均表面凹凸の増加に伴って、バリア層薄層化の際に電流リークの影響が生じ、接合抵抗値は顕著に低下することが分かる。また、積層順序を逆にした、Sub/CoZrTa(1 μ m)/Ta(10-100 Å)/NiFe(50)/CoFe(10)/Al(3-20)-0x/NiFe(10)/CoFe(20)/Ru(6)/CoFe(20)/PtMn(200)/Ta(50) の構成においても、同様の結果が得られた。

【0086】

図7は抵抗変化率のバリア層厚依存に関する、磁性薄膜の表面凹凸依存性である。

【0087】

膜構成は上記図6と同一とした。表面平均凹凸の増加に伴って、バリア層薄膜化の際に電流リークの影響が生じ、抵抗変化率が顕著に低下することが分かる。

【0088】

即ち、表面平均凹凸の増加に伴って、トンネルバリア層の薄膜化の際に電流リークの影響が生じ、抵抗変化率が顕著に低下する事が分かる。特にトンネルバリア層を15オングストローム以下と薄くすると表面平均凹凸の制御による影響が大きくなり、抵抗変化率15%以上を確保するには、表面平均凹凸を5オングストローム以下にする必要がある事が分かる。

【0089】

更に前述の図6を参照すると、この場合、接合抵抗を $100\Omega\mu\text{m}^2$ 以下(μm 各の素子抵抗で 100Ω 以下)とする為には、トンネルバリア層厚は更に薄い12オングストローム以下とする事が好ましく、トンネルバリア層12オングストローム以下で、且つ表面平均凹凸5オングストローム以下とすることで、高抵抗変化率と高周波応答特性とを両立出来る事が分かる。

【0090】

このような結果は、積層順序を逆にした構成においても同様であった。

【0091】

図8は抵抗変化率の接合抵抗依存性に関する、磁性薄膜表面凹凸依存性である。

【0092】

膜構成は、上記図6と同一とした。平均表面凹凸の増加に伴い、低抵抗領域で抵抗変化率すなわち出力低下が顕著となることが分かる。すなわち、低抵抗で高い出力を得るためには、磁性薄膜の平均表面凹凸を5オングストローム以下に小さくすることが重要である。

【0093】

特に、素子の小型化（素子高さを $1\ \mu\text{m}$ 以下、素子幅 $1\ \mu\text{m}$ 以下）が今後進展する事が予想され、その高周波応答特性を良好に保つ為に、接合抵抗が低く、かつ抵抗変化率の大きな素子が必要となる。本発明の表面凹凸制御の技術は、この素子の小型化を実現する為の技術として極めて有効であると言える。

【0094】

このような結果は、積層順序を逆にした構成においても同様であった。

【0095】

図9は磁性薄膜表面凹凸の成膜室導入ガス分圧依存性である。まず、装置内の真空度は $10^{-6} \sim 10^{-10}$ Torr とし、ここに酸素、窒素、水素ガスを導入した状態で膜を成膜する。

【0096】

この際の導入ガス分圧により膜の表面凹凸の制御ができることが分かる。特に導入ガス分圧が 10^{-6} から 10^{-9} Torr とすることで膜の平均表面凹凸を $5\ \text{\AA}$ 以下に制御できることが分かる。

【0097】

更に好ましくは 10^{-7} から 10^{-8} Torr とすることで、さらに凹凸の制御が可能であることがわかる。逆にガス分圧がこの範囲外となると、スピントネル磁気抵抗効果膜の結晶性が顕著に劣化し、表面凹凸は大きくなる傾向にある。また、この領域においては、ガス導入により膜中の不純物濃度が増加するためか、磁気抵抗変化率が低下する。

【0098】

なお図中の平均表面凹凸は以下に示す膜構成の反強磁性薄膜 (PtMn) の平均表面凹凸を示している。ここでの膜構成はSub (基板10) /CoZrTa ($1\ \mu\text{m}$) (下部電極層9) /Ta ($100\ \text{\AA}$) (下地層1) を構成した上に上記のように成膜室の導入ガス分圧を制御して/PtMn(200) (反強磁性薄膜2) /CoFe(20) (第3の磁性薄膜3A) /Ru(6) (非磁性薄膜3B) /CoFe(20) (第4の磁性薄膜3C) /NiFe(10) (第1の磁性薄膜4) を順次成膜したものである。

【0099】

ここで図中ではPtMnの平均表面凹凸を示しているが、その上に形成する第1、

3, 4 の磁性薄膜の平均表面凹凸もほぼ同様の凹凸を示していた。

【0 1 0 0】

図 1 0 は磁性薄膜表面凹凸の下地層酸化時の酸素導入分圧に関する、下地層材料依存である。

【0 1 0 1】

この時、構成を Sub/CoZrTa(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(100 Å)/PtMn(200)/CoFe(20)/Ru(6)/CoFe(20)/NiFe(10)/Al(6)-Ox/CoFe(10)/NiFe(50)/Ta(50) とした。

【0 1 0 2】

本発明の Ta, Zr, Hf 下地を適度な条件 (10^{-8} Torr 以上、より好ましくは 10^{-6} Torr 以上) で酸化することにより、磁性薄膜の平坦性が顕著に改善されることが分かる。

【0 1 0 3】

また、Ti を下地に採用した場合においても、磁性薄膜表面の平坦性は改善されるが、Ta, Zr, Hf に比較すると顕著な改善は見られないことが分かる。このような結果は、積層順序を逆にした構成においても同様であった。

【0 1 0 4】

図 1 1 は抵抗変化率の下地層酸化時の酸素導入分圧に関する、下地材料依存である。構成は、上記図 1 0 の場合と同一である。抵抗変化率は、上記磁性薄膜表面の平均凹凸の改善に対応して上昇するが、酸素導入分圧を 10^{-2} Torr より高くすると減少する。

【0 1 0 5】

これは表面酸化により、素子の付加抵抗が増加することと磁性薄膜の結晶性が劣化し、磁性薄膜のスピンの分極率が低下してしまうためである。このような結果は、積層順序を逆にした構成においても同様であった。

【0 1 0 6】

図 1 2 は磁性薄膜表面凹凸の成膜中基板温度依存性である。

【0 1 0 7】

この時、構成を Sub/CoZrTa(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(100 Å)/PtMn(200)/CoFe(20)/Ru(6)/CoFe(20)/NiFe(10)/Al(3-20)-Ox/CoFe(10)/NiFe(50)/Ta(50) とした。

【 0 1 0 8 】

図中の表面凹凸はPtMnの表面の平均表面凹凸である。平均表面凹凸は基板温度を低下させてPtMnを成膜することによりなだらかに低下し、特に0℃以下において5オングストローム以下に平坦性が改善される。

【 0 1 0 9 】

表面の平均凹凸は、このPtMn上に積層するCoFeの表面凹凸、更には、その上のRu層、その上のCoFe層、その上のNiFe層の平均凹凸へも影響を及ぼし、結果としてトンネルバリア層の表面凹凸へも影響を及ぼすこととなる。

【 0 1 1 0 】

このため、膜の表面凹凸を制御するためには、トンネルバリア層5下に位置するこれらCoFe/Ru/CoFe/NiFeを成膜する際の基板温度をも0℃以下として成膜することが好ましい。

【 0 1 1 1 】

そして、このように、PtMn上に形成するCoFeを成膜する際にも基板温度を0℃以下として成膜することで、このCoFe表面の平均凹凸も図12に示すPtMnの平均凹凸とほぼ同様の結果となった。

【 0 1 1 2 】

さらに、この結果は、積層順序を逆にした構成、即ち、Sub/CoZrTa(1μm)/(Ta,Zr,Hf,Ti)(100Å)/NiFe(50)/CoFe(10)/Al(3-20)-0x/NiFe(10)/CoFe(20)/Ru(6)/CoFe(20)/PtMn(200)/Ta(50)においても同様であった。

【 0 1 1 3 】

図13は反強磁性結合三層膜における飽和磁界の、非磁性層厚依存である。

【 0 1 1 4 】

この時、構成をSub/CoZrTa(1μm)/(Ta,Zr,Hf)(100Å)/PtMn(200)/CoFe(20)/(Ru,Cr,Rh,Ir,Ti)(4-16)/CoFe(20)/NiFe(10)/Al(3-20)-0x/CoFe(10)/NiFe(50)/Ta(50)とした。

【 0 1 1 5 】

飽和磁界は、非磁性層を10オングストローム以下にすることにより、顕著に増加する。また、飽和磁界は5から6オングストローム付近で飽和し、4オング

ストローム以下では磁性薄膜間の磁気的な直接接触状態（ピンホール）の影響が顕著となる。

【 0 1 1 6 】

また、非磁性層としてはRu、Cr、Rh、Irを採用することにより大きな飽和磁界すなわち反強磁性結合磁界が得られ、Ti等他の金属では、十分な反強磁性結合は得られなかった。このような結果は、積層順序を逆にした構成においても同様であった。

【 0 1 1 7 】

図 1 4 は、抵抗変化率のトンネルバリア層厚依存を、バリア層材料について比較したものである。

【 0 1 1 8 】

この時、構成をSub/CoZrTa(1 μ m)/(Ta,Zr,Hf)(100 Å)/PtMn(200)/CoFe(20)/(Ru,Cr,Rh,Ir)(4-16)/CoFe(20)/NiFe(10)/(Al(3-20)-Ox,Ta(3-20)-Ox,Al(3-20)-Nx,Mg(3-20)-Ox,Si(3-20)-Ox)/CoFe(10)/NiFe(50)/Ta(50) とした。

【 0 1 1 9 】

抵抗変化率はいずれの材料においても、15% 以上の値が得られるが、ごく薄領域においてはバリア層の均一性あるいは障壁高さの影響が現れ、各材料によって抵抗変化率が大きく異なる。

【 0 1 2 0 】

Al酸化層を用いることにより4 オングストローム付近においても、高い抵抗変化率が得られる。この時接合抵抗は、バリア層厚の減少とともに単調に低下する。また、本発明の比較として用いたSiOxをバリア層として用いた場合、抵抗変化はほとんど生じないことが確認された。

【 0 1 2 1 】

図 1 5 はバリア層界面へ高分極率材料を挿入した時の、抵抗変化率の挿入厚依存である。

【 0 1 2 2 】

この時、構成をSub/CoZrTa(1 μ m)/Ta(100 Å)/PtMn(200)/CoFe(20)/Ru(6)/CoFe(20)/(Co,FeCo,NiFeCo,Fe)(1-25)/Al(3-20)-Ox/CoFe(10)/NiFe(50)/Ta(50)とし

た。抵抗変化率は高分極率を有する強磁性層を挿入することにより上昇し、1 から3 オングストローム付近においても、効果が確認された。

【0123】

図16は本発明のシールド型スピントネル磁気抵抗効果素子の一部省略断面図である。磁気抵抗効果素子11は上下磁気シールド間14、15に上下電極材料13、19を介して適宜の数の層が積層され、パターニングされることになる。そして、スピントネル磁気抵抗効果膜11は、側面が絶縁層12で被覆され、又スピントネル磁気抵抗効果膜11には永久磁石膜8が隣接しており、これにより磁界を検知する磁性層が単磁区化されることになる。

【0124】

図17は本発明のヨーク型スピントネル磁気抵抗効果素子の断面図および正面図である。スピントネル磁気抵抗効果素子はフェライト基板上に積層され、パターニングされることになる。シールド型と同様、スピントネル磁気抵抗効果膜には永久磁石膜が隣接しており、これにより磁界を検知する磁性層が単磁区化され、外部磁束はヨークにより導かれる。

【0125】

図18は本発明のスピントネル磁気抵抗効果膜を素子高さ0.4 μm 、素子幅0.4 μm とし、隣接して磁区安定化膜としてCoCrPt永久磁石膜を配置した時の素子のMR曲線を示したものである。

【0126】

これより、永久磁石薄膜により磁区安定化が図られバルクハウゼンジャンプなどの非直線的な出力が回避されると共に、従来の磁気抵抗効果膜と比較して6～10倍程度の出力が得られた。

【0127】

図19は本発明のスピントネル磁気抵抗効果素子を記録再生ヘッドに用いた磁気記録再生装置である。

【0128】

図19に示す磁気記録再生装置は、駆動用のモータ101で回転する磁気記録媒体102の磁気記録面に対して、記録再生ヘッド103がサスペンション10

4、アーム105により取り付けられ、アクチュエータ106によって位置制御される構成からなる。

【0129】

記録再生ヘッド103は、磁気記録媒体102に記録された情報を再生する機能を担う本発明の図1(a)から図2(b)のスピントンネル磁気抵抗効果膜からなる磁気抵抗効果素子と、磁気記録媒体102への記録機能を担う記録部とからなる。

【0130】

記録再生動作は、記録再生ヘッド103への記録再生チャネル107からの信号により行われる。この記録再生チャネル107、記録再生ヘッド103、この再生ヘッド103の位置決めを行うアクチュエータ106、及び磁気記録媒体102を回転させる駆動用のモータ102は、制御ユニット108で制御される。

【0131】

この磁気記録再生装置では、本発明のスピントンネル磁気抵抗効果膜からなる磁気抵抗効果素子（磁気抵抗センサ）により再生を行うため、面密度記録が100ギガビット／平方インチ以上の高記録密度での再生を良好に行える磁気記録再生装置が実現できる。

【0132】

【発明の効果】

本発明では、熱安定性に優れ、磁気ヘッド適用に十分な低抵抗を示し、ゼロ磁場前後で直線的に大きな磁界感度を示すスピントンネル磁気抵抗効果膜およびスピントンネル磁気抵抗効果素子およびそれを用いた磁気装置を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

図1(a)は、本発明の第1の具体例に於けるスピントンネル磁気抵抗効果素子の一部省略側面図であり、図1(b)は、本発明の第2の具体例に於けるスピントンネル磁気抵抗効果素子の一部省略側面図である。

【図2】

図 2 (a) は、本発明の第 3 の具体例に於けるスピントネル磁気抵抗効果素子の一部省略側面図であり、図 2 (b) は、本発明の第 4 の具体例に於けるスピントネル磁気抵抗効果素子の一部省略側面図である。

【図 3】

図 3 は、本発明の一具体例に於けるスピントネル磁気抵抗センサの構成例を示す立体展開図である。

【図 4】

図 4 (a) は、本発明のスピントネル磁気抵抗効果素子の作用原理を説明する B - H 曲線であり、図 4 (b) は、本発明のスピントネル磁気抵抗効果素子の作用原理を説明する R - H 曲線である。

【図 5】

図 5 は、本発明の一具体例に於けるスピントネル磁気抵抗効果膜の成膜工程を説明する省略図である。

【図 6】

図 6 は、本発明のスピントネル磁気抵抗効果素子の接合抵抗のバリア層依存に関する、磁性薄膜表面凹凸依存である。

【図 7】

図 7 は、本発明のスピントネル磁気抵抗効果素子の抵抗変化率のバリア層厚依存に関する、磁性薄膜表面凹凸依存である。

【図 8】

図 8 は、本発明のスピントネル磁気抵抗効果素子の抵抗変化率と接合抵抗の相関に関する、磁性薄膜表面凹凸依存である。

【図 9】

図 9 は、本発明のスピントネル磁気抵抗効果膜素子の磁性薄膜表面凹凸の、成膜時導入ガス分圧依存である。

【図 1 0】

図 1 0 は、本発明のスピントネル磁気抵抗効果素子の磁性薄膜表面凹凸の、下地層酸化時の酸素導入分圧依存である。

【図 1 1】

図 1 1 は、本発明のスピントンネル磁気抵抗効果素子の抵抗変化率の、下地層酸化時の酸素導入分圧依存である。

【図 1 2】

図 1 2 は、本発明のスピントンネル磁気抵抗効果素子の磁性薄膜表面凹凸の基板温度依存である。

【図 1 3】

図 1 3 は、本発明のスピントンネル磁気抵抗効果膜の飽和磁界の非磁性層厚依存である。

【図 1 4】

図 1 4 は、本発明のスピントンネル磁気抵抗効果膜の抵抗変化率のトンネルバリア層厚依存である。

【図 1 5】

図 1 5 は、本発明のスピントンネル磁気抵抗効果膜の抵抗変化率の界面磁性層挿入厚依存である。

【図 1 6】

図 1 6 は、本発明のシールド型スピントンネル磁気抵抗効果素子の一部省略側面図である。

【図 1 7】

図 1 7 は、本発明のヨーク型スピントンネル磁気抵抗効果素子の一部省略側面図および正面図である。

【図 1 8】

図 1 8 は、本発明のスピントンネル磁気抵抗効果素子のMR曲線である。

【図 1 9】

図 1 9 は、本発明のスピントンネル磁気抵抗効果膜を再生ヘッドに用いた磁気記録再生装置の概略構成図である。

【符号の説明】

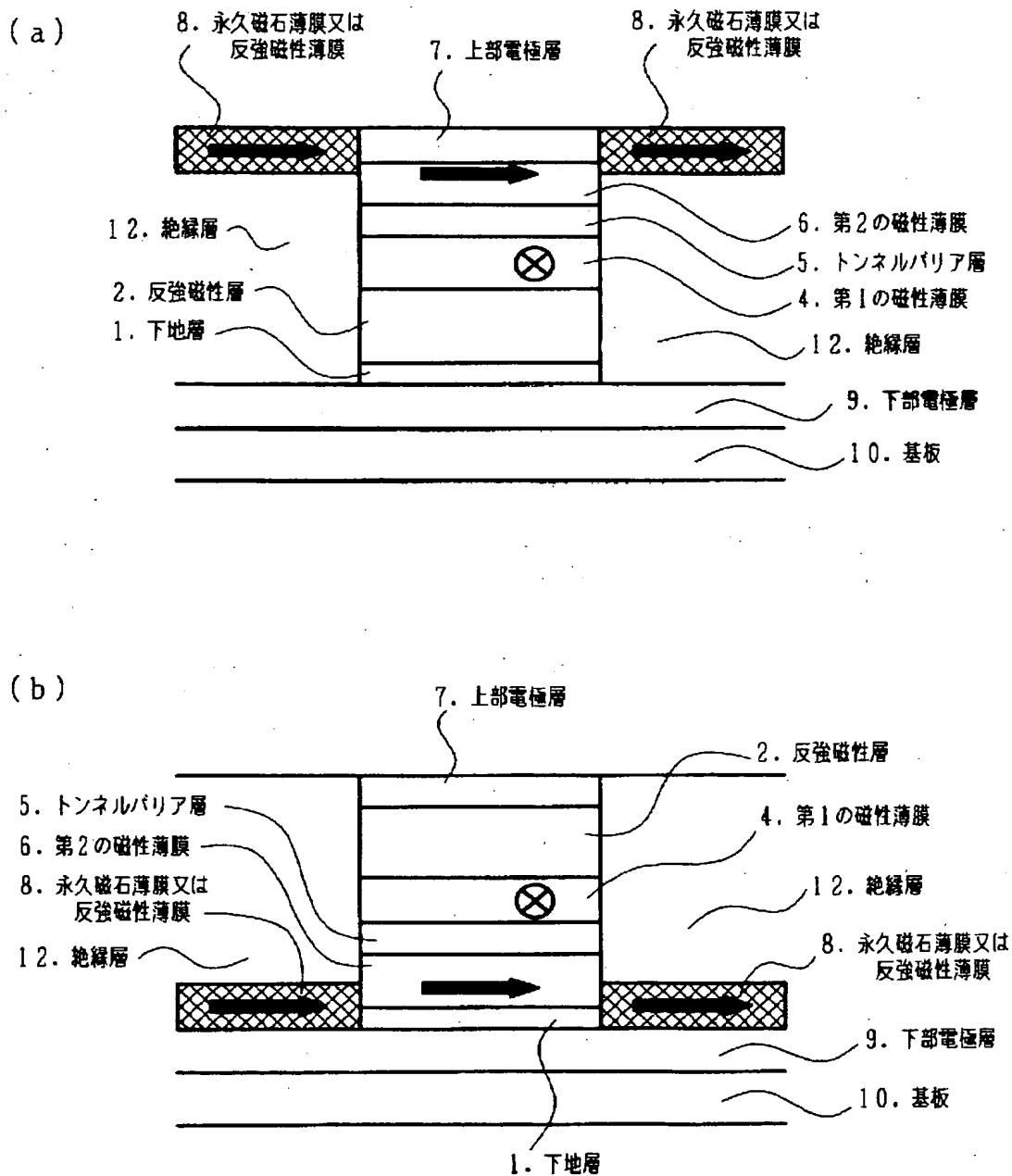
- 1 … 下地層
- 2 … 反強磁性薄膜
- 3 A … 第 3 の磁性膜

- 3 B …非磁性薄膜
- 3 C …第 4 の磁性膜
- 4 …第 1 の磁性薄膜
- 5 …トンネルバリア層
- 6 …第 2 の磁性薄膜
- 7 …上部電極層
- 8 …永久磁石薄膜または反強磁性薄膜
- 9 …下部電極層
- 1 0 …基板
- 1 1 …スピントンネル磁気抵抗効果膜
- 1 2 …絶縁層
- 1 3 …上部電極層
- 1 4 …下シールド
- 1 5 …上シールド
- 1 6 …ヨーク
- 1 7 …溝
- 1 8 …フェライト基板
- 1 9 …下電極
- 2 0 …媒体
- 1 0 1 …駆動用のモータ
- 1 0 2 …磁気記録媒体
- 1 0 3 …記録再生ヘッド
- 1 0 4 …サスペンション
- 1 0 5 …アーム
- 1 0 6 …アクチュエータ
- 1 0 7 …記録再生チャネル
- 1 0 8 …制御ユニット

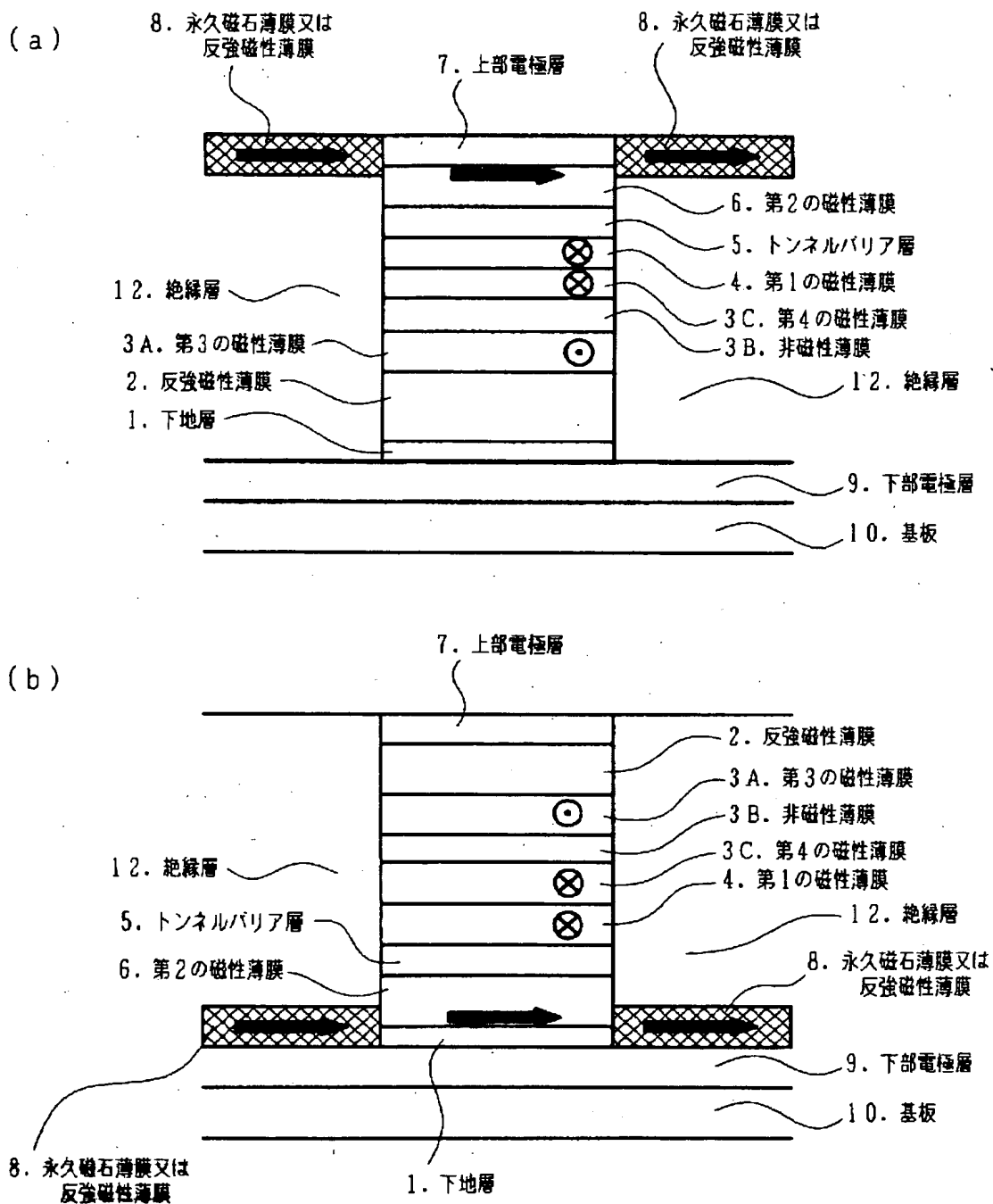
【書類名】

図面

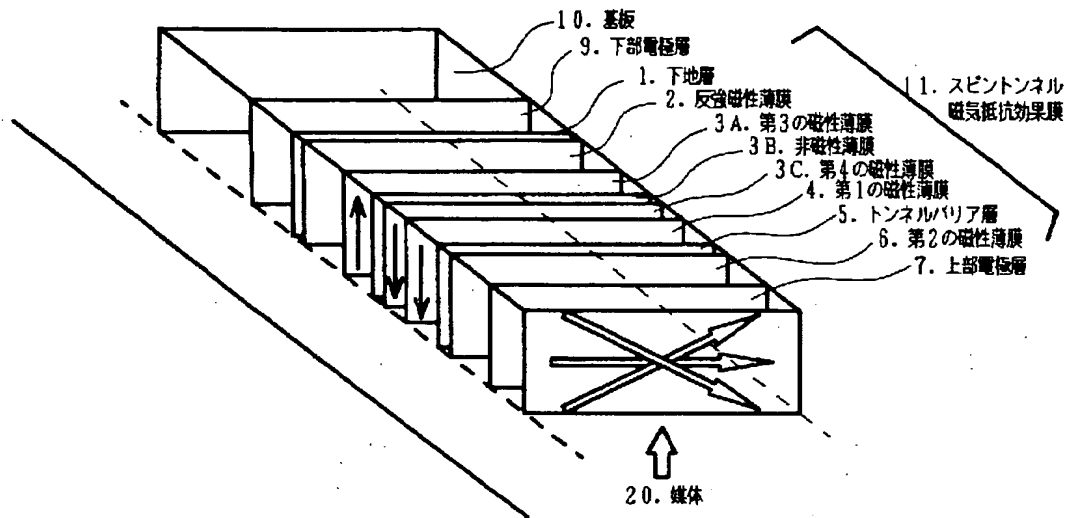
【図 1】



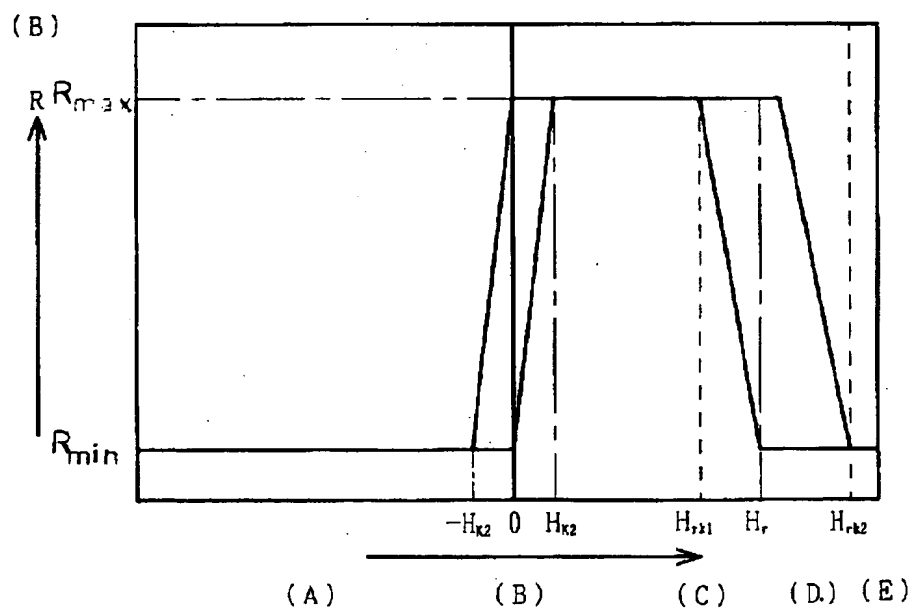
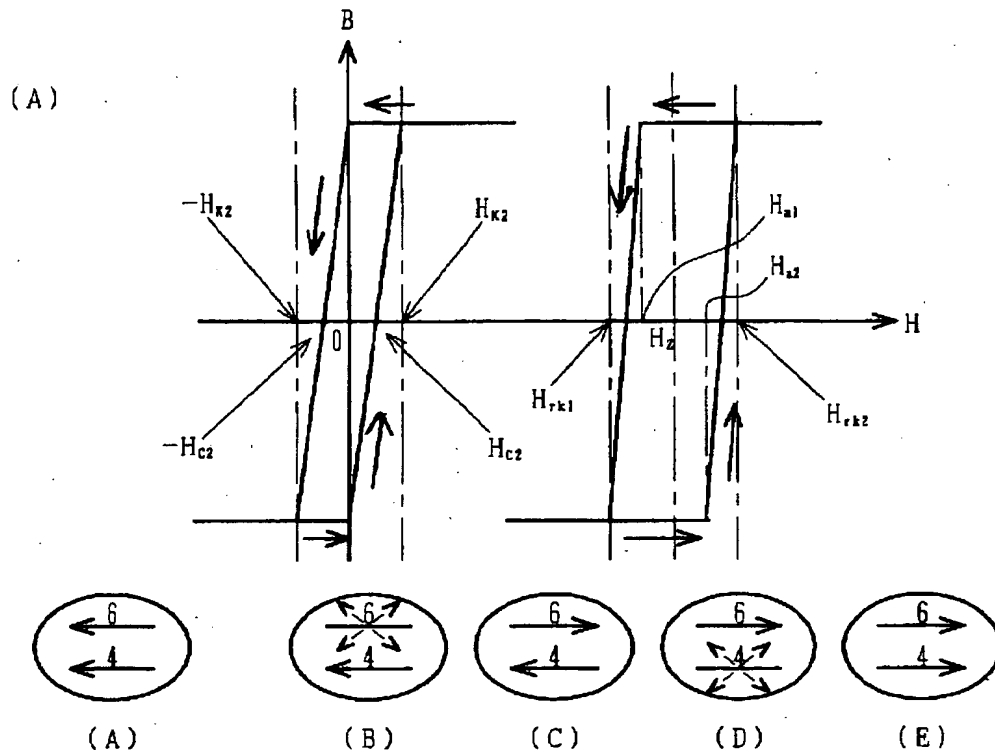
【図 2】



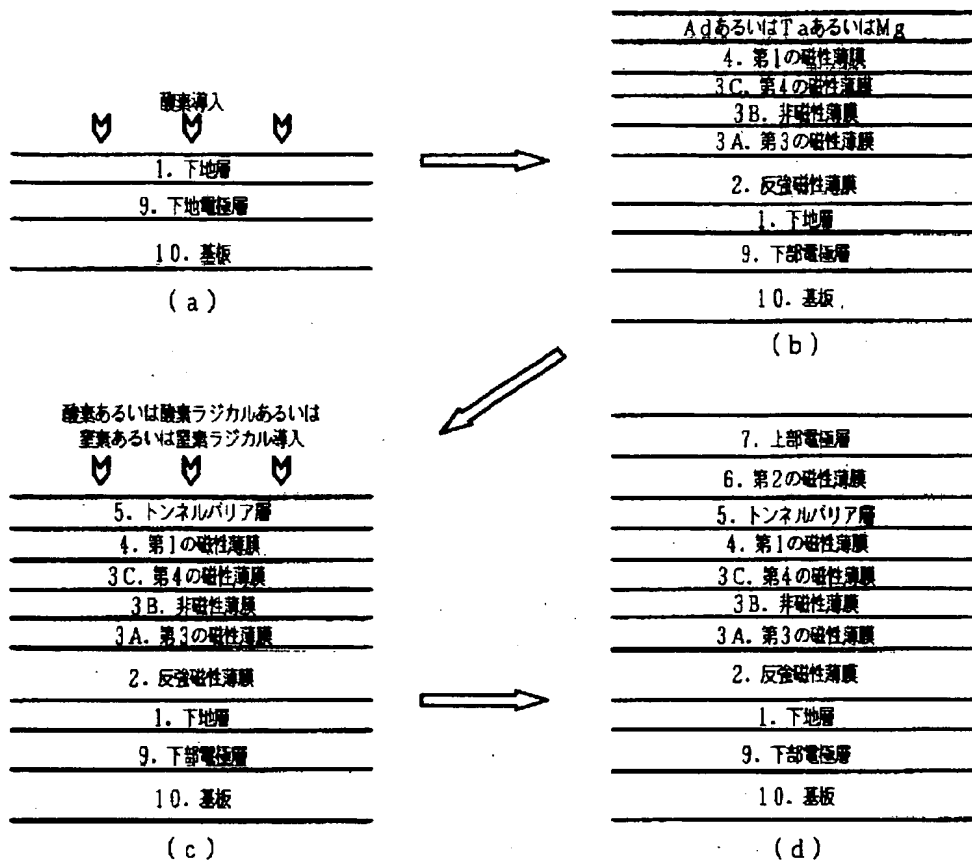
【図 3】



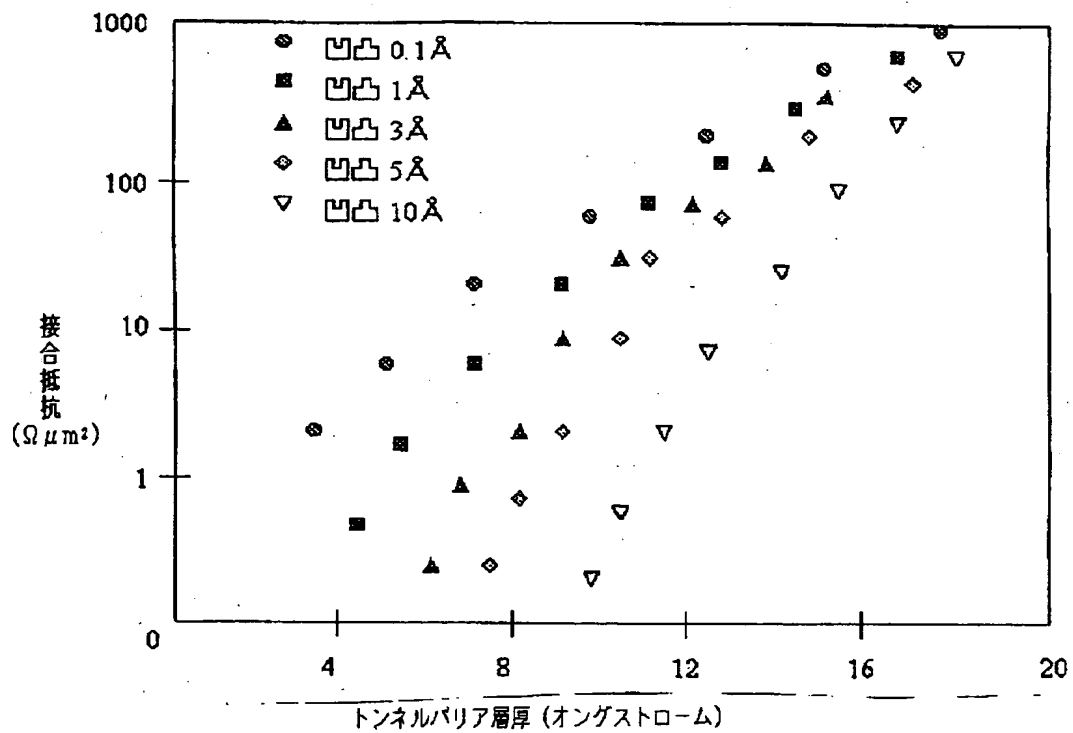
【図 4】



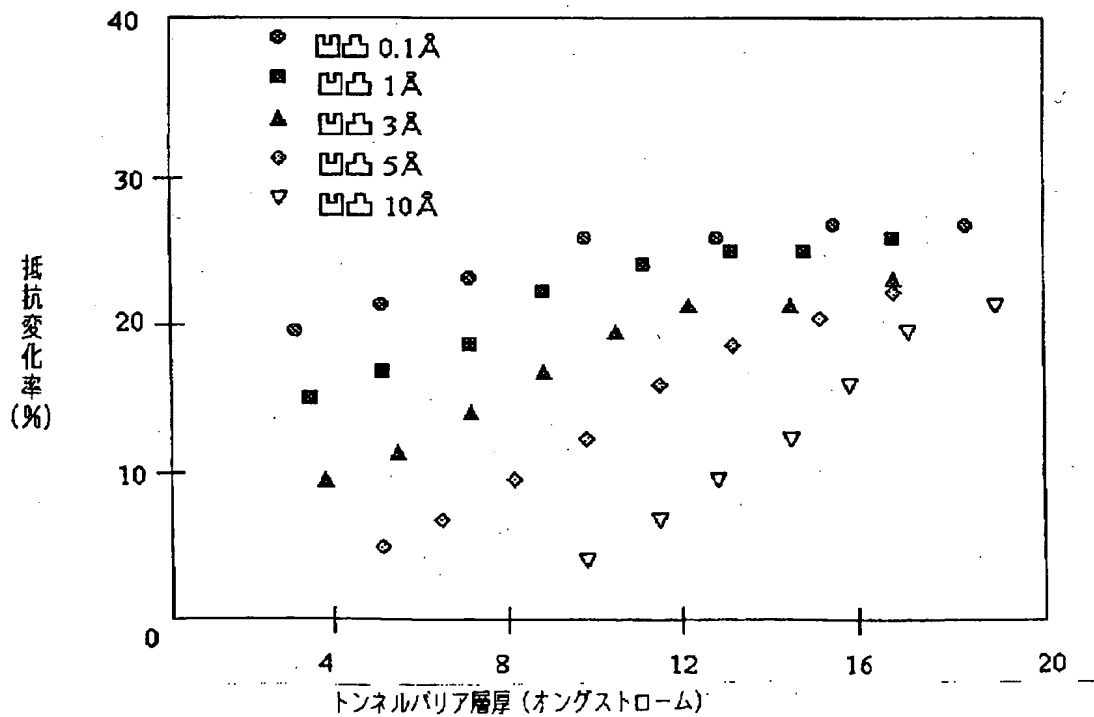
【図 5】



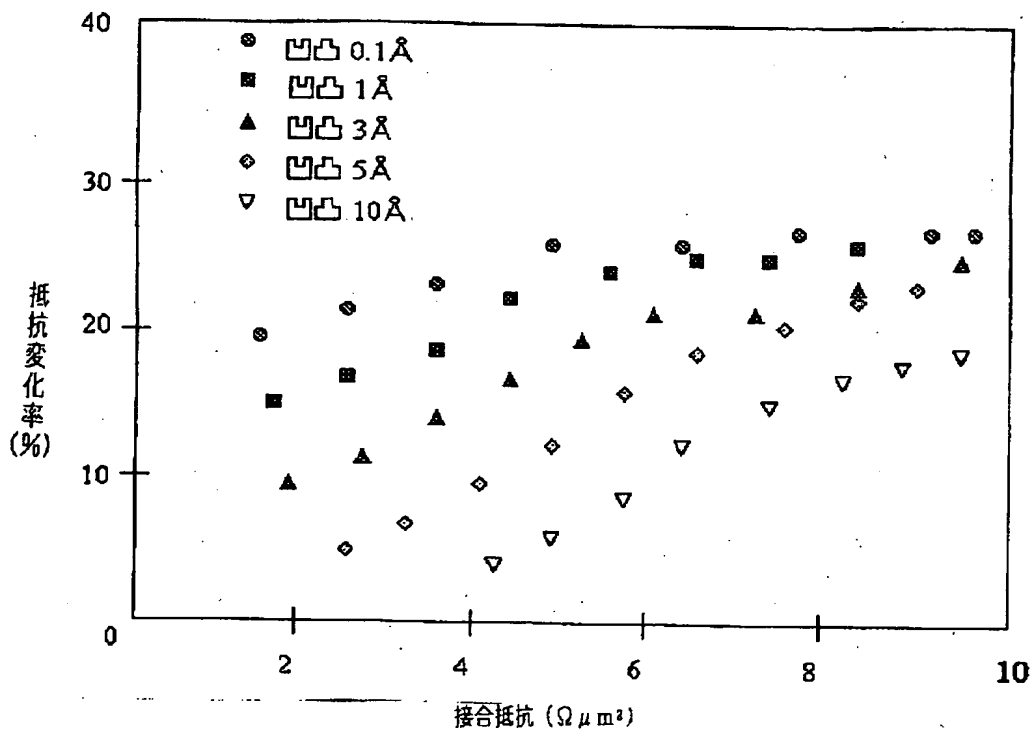
【図 6】



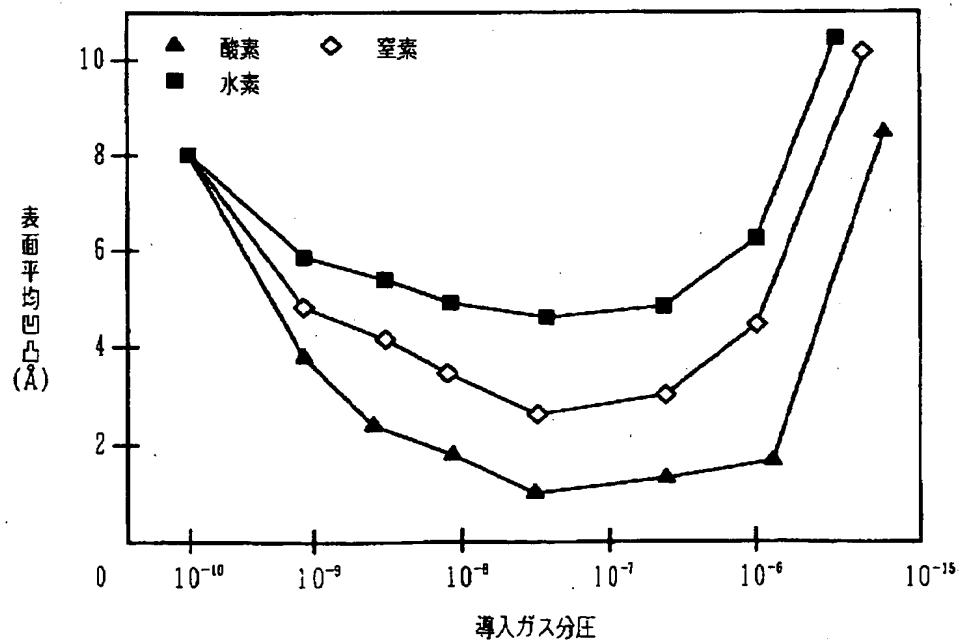
【図 7】



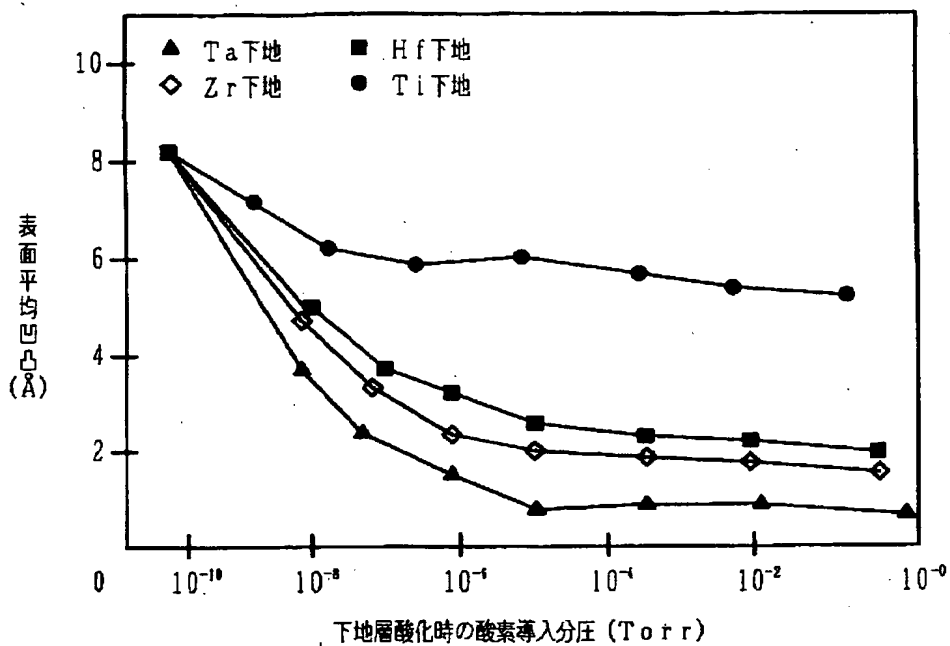
【図 8】



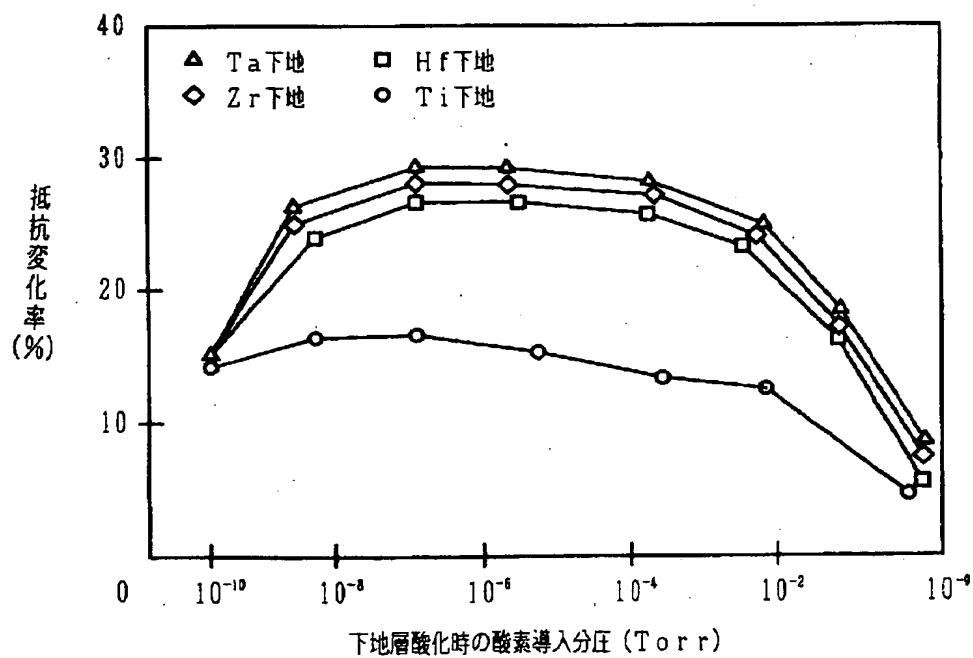
【図 9】



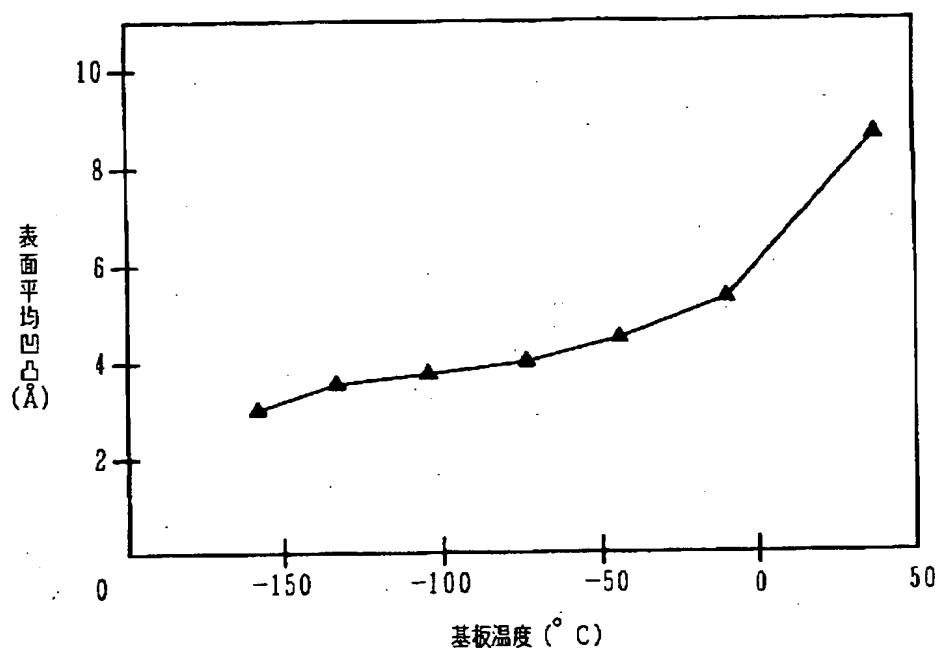
【図 10】



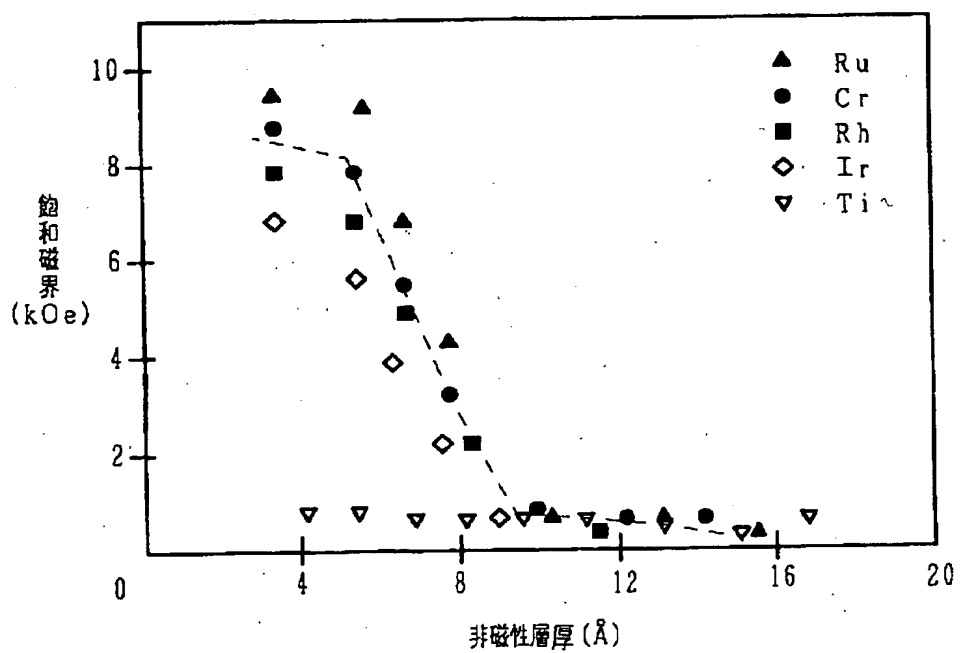
【図 11】



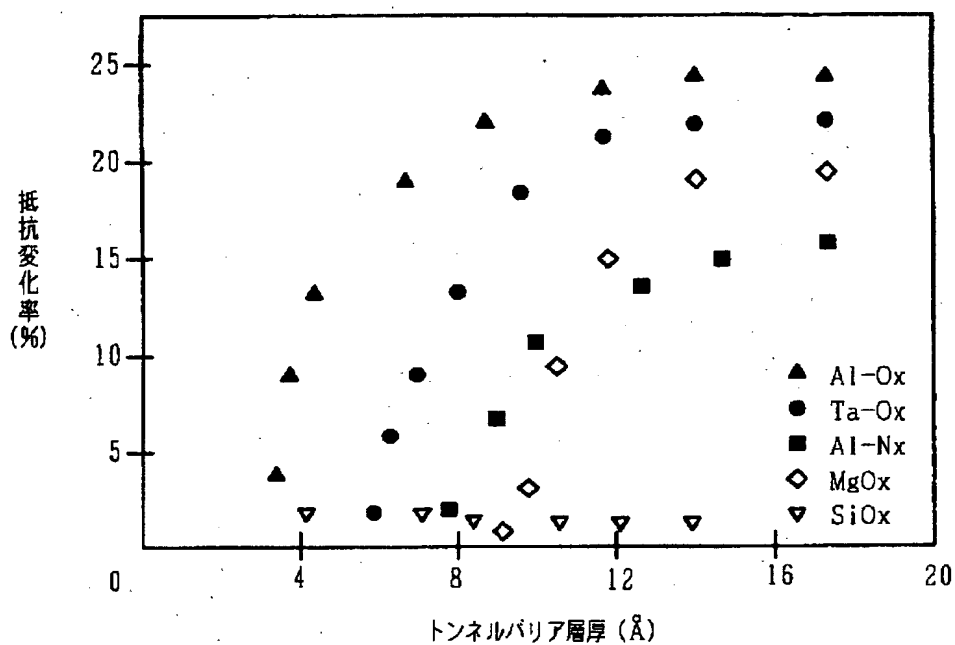
【図 1 2】



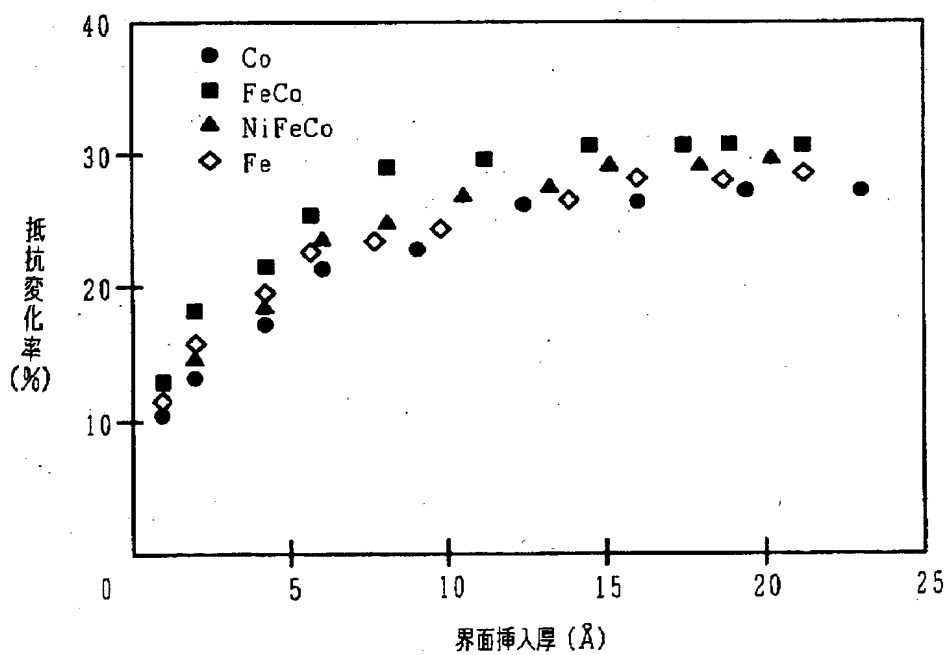
【図 1 3】



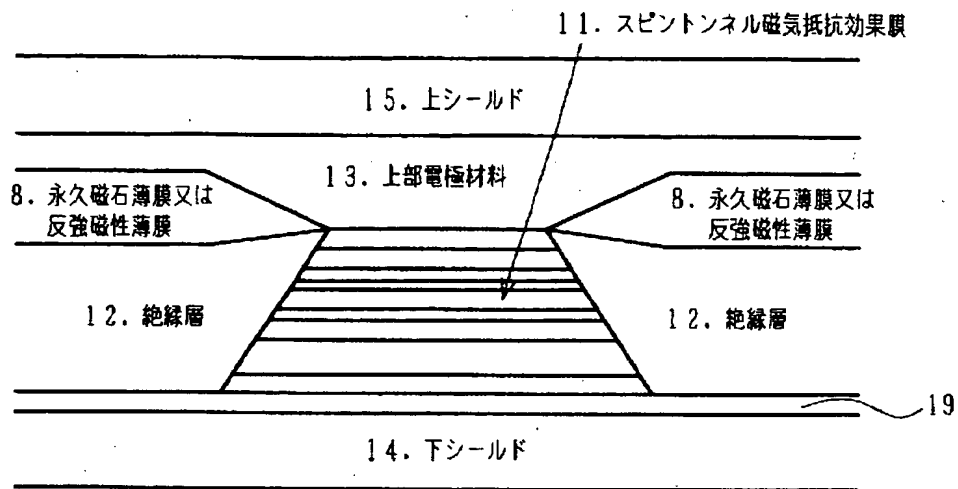
【図 14】



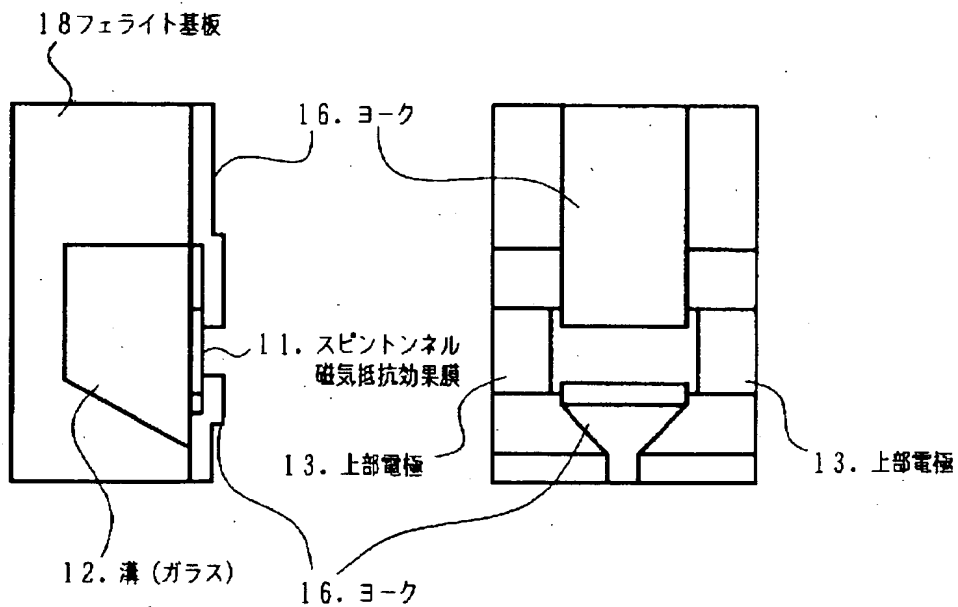
【図 15】



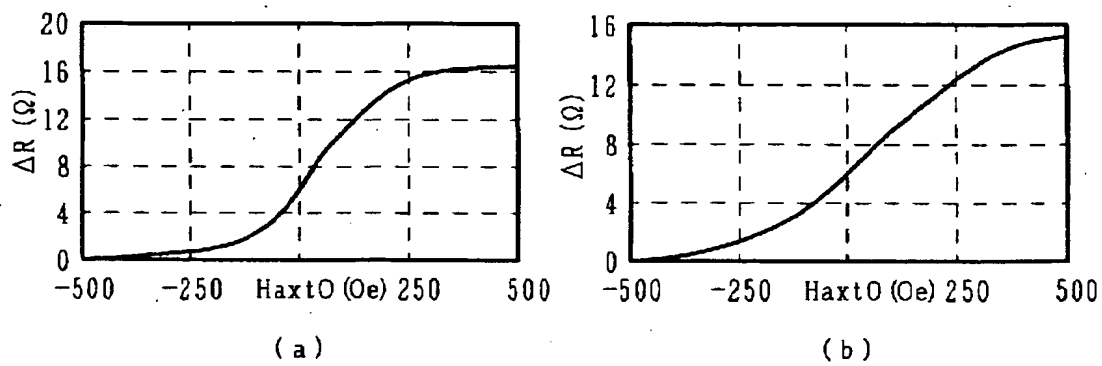
【図 16】



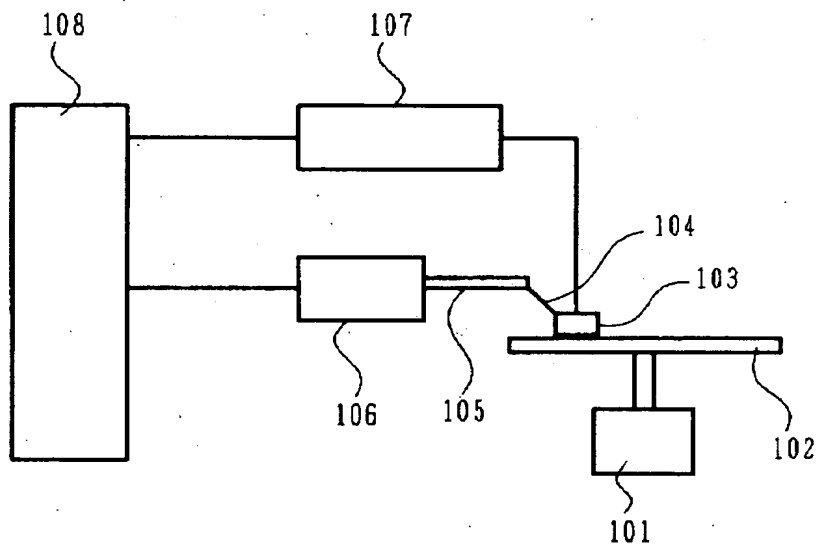
【図 17】



【図 18】



【図 19】



【書類名】 要約書

【要約】

【目的】 本発明の目的は、熱安定性に優れ、磁気ヘッド適用に十分な低抵抗を示し、ゼロ磁場前後で直線的に大きな磁界感度を示すスピントネル磁気抵抗効果膜、スピントネル磁気抵抗効果素子、及びそれを用いた磁気装置を提供することを目的とする。

【構成】 反強磁性体と交換結合して交換バイアスを与えられた磁性薄膜と磁界を検知する磁性薄膜がトンネルバリア層を介して積層されたスピントネル磁気抵抗効果膜において、下地層(Ta, Zr, Hf)上に磁性薄膜または反強磁性薄膜(PtMn, PdMn, NiMn)を積層し、表面の凹凸を0.1から5オングストロームとする。

この時表面凹凸を制御する手段が、成膜室に 10^{-6} Torrから 10^{-9} Torr分圧の酸素、窒素、水素あるいはこれらの混合ガスを導入する、あるいは、成膜中に基板温度を0℃以下にする、あるいは下地層表面を酸化することによることを特徴とする。また、下部電極材料として、高透磁率アモルファス磁性材料と非磁性金属導電層との積層膜を用いることを特徴とする。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004237]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区芝五丁目7番1号
氏 名	日本電気株式会社